# भौतिक विज्ञान मे क्रान्ति

[ फ्रेंच भाषा की मूल पुस्तक "La Physique Nouvelle et les Quanta" के नीमेयर (R W Niemeyer) कृत अंग्रेजी भाषान्तर (1950) से अनूदित ]

हिन्दी-समिति-ग्रन्थमाला—२६

# भौतिक विज्ञान में क्रान्ति

(क्वाटमों का गणितविहीन पर्यवेक्षण)

लेखक

लूई दे ब्रोगली

अनुवादक

डॉ० निहाल करण सेठी

प्रकाशन शाखा, सूचना विभाग

उत्तर प्रदेश

प्रथम सस्करण

१९५८

मूल्य

साढे चार रपया

मुद्रक

प० पृथ्वीनाथ भार्गव,

भागव भूषण प्रेस गायघाट, वाराणसी

# प्रकाशकीय

भारत की राजभाषा के रूप में हिन्दी की प्रतिष्ठा के पश्चात् यद्यपि इस देश के प्रत्येक जन पर उसकी समृद्धि का दायित्व है किन्तु इससे हिंदी भाषा भाषी क्षेत्रों के विशेष उत्तरदायित्व में किसी प्रकार की कमी नहीं आती। हमें संविधान में निर्धारित अवधि के भीतर हिंदी को न केवल सभी राजकार्यों में व्यवहृत करना है उसे उच्चतम शिक्षा के माध्यम के लिए भी परिपुष्ट बनाना है। इसके लिए अपेक्षा है कि हिंदी में वाङ्मय के सभी अवयवों पर प्रामाणिक ग्रन्थ हों और यदि कोई व्यक्ति केवल हिंदी के माध्यम से ज्ञानार्जन करना चाहे तो उसका मार्ग अवरुद्ध न रह जाय।

इसी भावना से प्रेरित होकर उत्तर प्रदेश शासन ने हिंदी समिति के तत्त्वावधान में हिंदी वाङ्मय के सभी अङ्गों पर ३०० ग्रन्थों के प्रणयन एवं प्रकाशन के लिए पंचवर्षीय योजना परिचालित की है। यह प्रसन्नता का विषय है कि देश के बहुश्रुत विद्वानों का सहयोग इस सत्प्रयास में समिति को प्राप्त हुआ है जिसके परिणाम-स्वरूप थोड़े समय में ही विभिन्न विषयों पर पचीस ग्रन्थ प्रकाशित किये जा चुके हैं। देश की हिंदी भाषी जनता एवं पत्र-पत्रिकाओं से हमें इस दिशा में पर्याप्त प्रोत्साहन मिला है जिससे हम अपने इस उपक्रम की सफलता पर विश्वास होने लगा है।

प्रस्तुत ग्रन्थ हिंदी समिति ग्रन्थमाला का २६ वां पुष्प है। भौतिक विज्ञान सम्बन्धी धारणाओं में पिछले ५०-६० वर्षों के भीतर जो क्रान्ति हुई है, उसका विवरण और इतिहास बहुत रोचक है। इस पुस्तक में इसी विषय का दिग्दर्शन कराया गया है। इसके लेखक हैं नोबुल पुरस्कार विजेता लूई द ब्रोगली, जिन्होंने स्वयं इस क्रान्ति में प्रमुख भाग लिया है और जो द्रव्य के तरंग सिद्धान्त के प्रणेता के रूप में विश्वविख्यात

ह। उनकी कलापूर्ण तथा अधिकारी लेखनी ने इस पुस्तक को और भी महत्त्वपूर्ण बना दिया है। मूल पुस्तक फ्रेञ्च भाषा में लिखी गयी थी और उसका संसार की अनेक भाषाओं में अनुवाद हो चुका है। आशा है, हिंदी भाषा में उसका यह अनुवाद जो हिंदी के लब्धप्रतिष्ठ वैज्ञानिक डॉ० श्री निहालकरण सेठी ने किया है, हमारे पाठकों के लिए उपयोगी सिद्ध होगा।

भगवतीशरण सिंह
सचिव, हिंदी समिति

# विषय-सूची

# भूमिका

## क्वाटमो का महत्त्व

### १ क्वाटमो के विषय मे ज्ञान प्राप्त करना आवश्यक क्यो ?

इसमें सन्देह नही कि इस छोटी-सी पुस्तक के आवरण पर रहस्यमय शब्द क्वाटम को देखकर ही अनेक पाठक आशंकित हो उठेंगे । जन साधारण को आपेक्षिकता के सिद्धान्त[1] के सम्बन्ध मे तो थोडा बहुत अस्पष्ट—बहुधा अत्यन्त ही अस्पष्ट—परिचय है क्योकि पिछले कई वर्षो से इसके विषय में बहुत चर्चा होती रही है। किन्तु मेरा विश्वास है कि क्वाटम सिद्धान्त[2] के सम्बन्ध मे जनता को प्राय कुछ भी आभास—अस्पष्ट आभास भी—नही है। मानना पडेगा कि ऐसा होना क्षन्तव्य भी है क्योकि क्वाटम सचमुच ही रहस्यमय वस्तुएँ है। जब मैं केवल बीस वर्ष का था तभी मैंने इनका अध्ययन प्रारम्भ किया था और उन पर विचार करते अब प्राय चौथाई शताब्दी बीत चुकी है तथापि मुझे नम्रतापूर्वक यह स्वीकार करना पडता है कि इतने चिन्तन के बाद भी मैं उनके केवल थोडे से ही गुणो को कुछ थोडा अधिक अच्छी तरह समझ सका हूँ। किन्तु अभी तक मुझे ठीक-ठीक नही मालूम कि बाहरी आवरण के पीछे छिपा हुआ उनका वास्तविक स्वरूप क्या है। फिर भी मै समझता हूँ कि यह अब निस्सन्देह कहा जा सकता है कि यद्यपि पिछली कई शताब्दियो मे भौतिक विज्ञान में बहुत विस्तृत और महत्त्वपूर्ण प्रगति हो गयी है तथापि जब तक भौतिकज्ञो को क्वाटमो के अस्तित्व का [illegible] नही लगा था तब तक वे भौतिक घटनाओ के वास्तविक तथा गूढ रहस्य [illegible] में बिल्कुल ही असमर्थ थे, क्योकि क्वाटमो के बिना इस संसार में [illegible] का अस्तित्व हो सकता है और न द्रव्य का। धर्मशास्त्र की [illegible] करके यह भी कहा जा सकता है कि ईश्वर की इस [illegible] निर्माण क्वाटमो के बिना नहीं हुआ है।

1 Theory of Relativity 2 Quantum [illegible]

अब हम समझ सकते हैं कि जिस दिन विज्ञान में चुपके से क्वाटमा का प्रवेश हुआ था, उस दिन हमारे मानवीय विज्ञान की प्रगति की दिशा ने सचमुच ही वास्तविक मोड ले लिया था। उस दिन चिरप्रतिष्ठित (क्लैसिकल) भौतिक विज्ञान की विशाल और भव्य इमारत की नीव तक हिल गयी थी। किन्तु उस समय इस बात का किसी को भी स्पष्टत अनुभव नही हुआ था। बौद्धिक जगत् के इतिहास में इतनी बडी उथल-पुथल बहुत कम ही हुई है।

जो क्रान्ति हो गयी है उसकी वृहत्ता का अन्दाजा लगाने में हमें अब कुछ थोडी-सी सफलता मिलने लगी है। देकार्ते[1] के आदर्श का अनुसरण करके चिरप्रतिष्ठित भौतिकी ने हमें यह बताया था कि यह विश्व एक विशाल यान्त्रिक रचना के समान है। आकाश[2] में उसके विभिन्न भागो के अवस्थापन[3] से तथा काल के प्रवाह में होनेवाले उसके परिवर्तनो के ज्ञान से उसका पूर्णत यथार्थ वर्णन हो सकता है। और प्रारम्भिक स्थिति के सम्बन्ध में कुछ ज्ञान होने पर सिद्धान्तत उसकी भविष्य में हो सकनेवाली प्रगति के विषय में बिलकुल सही प्रागुक्ति भी की जा सकती है। किन्तु यह धारणा जिन अनेक प्रच्छन्न परिकल्पनाओ पर निर्भर थी वे प्राय अनजाने ही स्वीकार कर ली गयी थी। इन परिकल्पनाओ में एक यह भी थी कि आकाश[4] और काल[5] के जिस ढाचे या सस्थान में हम अपने समस्त अनुभवो की अवस्थापना करने का प्रयत्न स्वभावत करते है वह पूर्णत दृढ[6] और अपरिवर्ती है। सिद्धान्तत इस ढाचे में प्रत्येक भौतिक घटना की अवस्थापना समस्त निकटवर्ती गत्यात्मक प्रक्रियाओ से सर्वथा स्वतन्त्र होती है। फलत भौतिक जगत के समस्त परिणमन (वैरियेशन्स) आकाश की स्थानीय अवस्था के काल प्रवाह में होनेवाले रूपान्तरो के द्वारा अवश्य ही व्यक्त हो सकते है। और यही कारण है कि चिरप्रतिष्ठित विज्ञान में ऊर्जा[7] तथा सवेग[8] जैसी गत्यात्मक राशियाँ व्युत्पन्न[9] राशियो के रूप में प्रकट हुई थी और वेग[10] की धारणा पर आश्रित थी। अर्थात गतिमिति[11] ही गति विज्ञान[12] का आधार बन गयी थी।

किन्तु क्वाटम भौतिकी[13] के दृष्टिकोण से तथ्य सर्वथा विपरीत है। क्रिया के क्वाटम[14] के अस्तित्व में (जिसका उल्लेख हमें इस पुस्तक में अनेक बार करना पडेगा) यह बात निहित है कि आकाश और काल में अवस्थापन के दृष्टिकोण में तथा

1 Descartes 2 Space 3 Localisation 4 Space 5 *Time* 6 *Rigid* 7 Energy 8 Momentum 9 Derived 10 Velocity 11 Kinematics 12 Dynamics 13 Quantum Physics 14 Quantum of action

गत्यात्मक परिणमन के दृष्टिकोण में एक प्रकार का वैपरीत्य है। वास्तव जगत के वर्णन में दोनों ही दृष्टिकोणों का उपयोग हो सकता है किन्तु यह सम्भव नहीं है कि एक ही साथ दोनों को पूर्ण कठोरतापूर्वक अपनाया जा सके। आकाश और काल के सस्थान में अविकल यथार्थतापूर्वक अवस्थापन एक प्रकार का स्थैतिक आदर्शीकरण[1] है जिसमें परिणमन और गत्यात्मकता की सभावना नहीं हो सकती। विपरीत इसके गतिशील अवस्था की पूर्णतः शुद्ध कल्पना गत्यात्मक[2] आदर्शीकरण है जो सिद्धान्ततः स्थान और क्षण की धारणाओं का पूर्णतः विरोधी है। क्वाटम सिद्धान्त में भौतिक जगत का वर्णन तभी सम्भव है जब इन दो परस्पर विरोधी प्रतिरूपों में से किसी एक का ही थोडा या बहुत उपयोग किया जाय। इससे एक प्रकार का समझौता-सा हो जाता है। हाइज़नबर्ग[3] के विख्यात अनिश्चितता के अनुबन्ध[4] हमें यही बताते है कि यह समझौता किस हद तक सभव है। इन नये विचारों से अनेक अन्य परिणामों के अतिरिक्त यह भी प्रमाणित हो जाता है कि गतिमिति कोई ऐसा विज्ञान नहीं है जिसका कुछ भौतिक अर्थ हो। चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी[5] में यह मान लिया गया था कि आकाश में होनेवाले विस्थापनों[6] का स्वतन्त्र रूप से अध्ययन हो सकता है और इसके द्वारा विस्थापनों और त्वरणों[7] की परिभाषाएं बिना इस बात की चिन्ता किये भी बन सकती हैं कि वे विस्थापन वस्तुतः सम्पन्न क्या होते हैं। गति के इस निरपेक्ष अध्ययन से प्रारम्भ करने के बाद उसमें कई नये भौतिक सिद्धान्तों के समावेश से ही गति विज्ञान[8] की दिशा में प्रगति हुई थी। किन्तु क्वाटम सिद्धान्त में विषय का इस प्रकार विभाजन सिद्धान्ततः मान्य नहीं है क्योंकि आकाश और काल में अवस्थापन जो गतिमिति का मूल आधार है केवल गतिवैज्ञानिक प्रक्रियाओं द्वारा निश्चित सीमा तक ही स्वीकार किया जा सकता है। फिर भी हम आगे चलकर देखेंगे कि स्थूल घटनाओं के अध्ययन के लिए गतिमिति का उपयोग पूर्णतः न्यायसगत हो सकता है। किन्तु जिन परमाणु मापदडीय सूक्ष्म घटनाओं में क्वाटमों का प्राधान्य होता है उनके लिए हमें यह कहना पडता है कि जिस गतिमिति में समस्त प्रवर्तक कारणों को छोडकर गति का अध्ययन स्वतन्त्र रूप से किया जाता है वह सर्वथा अर्थहीन है।

चिरप्रतिष्ठित भौतिकी के मूल में दूसरी प्रच्छन्न परिकल्पना यह है कि प्राकृतिक

1 Static idealisation 2 Dynamic 3 Heisenberg 4 Uncertainty relations 5 Classical mechanics 6 Displacements 7 Accelerations 8 Dynamics

घटनाओं के यथार्थतापूर्वक अध्ययन के लिए वैज्ञानिक जो प्रेक्षण और माप करता है उनके द्वारा घटना प्रवाह में होनेवाले विकारों को समुचित पूर्वावधानताओं[1] की सहायता से उपेक्षणीय कर देना सम्भव है। दूसरे शब्दों में यह मान लिया जाता है कि सुसम्पादित प्रयोगों में ऐसे विकार यथेष्ट परिमाण में छोटे और सूक्ष्म कर दिये जा सकते हैं। स्थूल परिमाणवाली घटनाओं में तो यह परिकल्पना सदैव बहुत-कुछ पूरी उतरती है, किन्तु परमाणु-जगत् में ऐसा नहीं होता। वस्तुतः हाइजनबर्ग और बोह्र[2] के सूक्ष्म और गहन विश्लेषणों के द्वारा प्रमाणित हो गया है कि क्रिया के क्वाटम की वास्तविकता का यह निश्चित परिणाम होता है कि किसी निकाय[3] की किसी एक लाक्षणिक राशि को नापने के प्रयत्न से ही उस निकाय-सम्बन्धी अन्य राशियों में किसी अज्ञात रीति से कुछ परिवर्तन हो जाता है। अधिक यथार्थतापूर्वक *यों कह सकते हैं कि जिस राशि के द्वारा निकाय का आकाश और काल में यथार्थ* अवस्थापन सम्भव हो सके उसके नापने की प्रक्रिया का यह परिणाम होता है कि उस राशि से संयुग्मित[4] जिस दूसरी राशि के द्वारा उस निकाय की गत्यात्मक अवस्था निर्धारित होती है वह बदल जाती है। विशेषतः यह असम्भव है कि किन्हीं भी दो संयुग्मित राशियों को एक साथ पूर्ण यथार्थतापूर्वक नापा जा सके। अब हम समझ सकते हैं कि क्रिया के क्वाटम के अस्तित्व के कारण किसी निकाय के अवयवों का आकाश और काल में अवस्थापन किस प्रकार उस निकाय की सुनिश्चित गत्यात्मक अवस्था के निर्धारण का विरोधी हो जाता है क्योंकि निकाय के अवयवों के अवस्थापन के लिए यह आवश्यक है कि हमें गत्यात्मक अवस्था सम्बन्धी दोनों ही संयुग्मी राशि-समूहों का यथातथ (एग्ज़ैक्ट) ज्ञान हो। किन्तु एक राशि-समूह का यथातथ ज्ञान ही उस राशि-समूह से संयुग्मित दूसरे राशि-समूह के यथातथ ज्ञान को असम्भव बना देता है। अपने अध्ययन के लिए किसी निकाय में जो विकार वैज्ञानिक उत्पन्न करता है उसके लिए क्वाटमों का अस्तित्व एक निश्चित प्रकार की निम्न सीमा निर्धारित कर देता है। इस प्रकार चिरप्रतिष्ठित भौतिकी के मूल में जो परिकल्पनाएँ प्रच्छन्न थीं उनमें से एक का प्रतिषेध हो जाता है। इस तथ्य के परिणाम अत्यन्त महत्त्वपूर्ण है।

इससे यह नतीजा निकलता है कि सनातन विचारधारा के अनुसार किसी निकाय के यथातथ विवरण के लिए जिन राशियों का ज्ञान आवश्यक है उनमें से

1 Precautions 2 Bohr 3 System 4 Conjugate 5 Exact

आधी से अधिक का ज्ञान हमें यथार्थतापूर्वक हो ही नहीं सकता। सच तो यह है कि निकाय की किसी एक लाक्षणिक राशि का जितना ही अधिक यथार्थ ज्ञान हमें होगा उतनी ही अधिक अनिश्चित उससे संयुग्मित दूसरी राशि हो जायगी। इस बात से प्राकृतिक घटनाओं की प्राक्निर्णीतता के सम्बन्ध में प्राचीन और नवीन भौतिक विज्ञान में बहुत महत्त्वपूर्ण अन्तर पैदा हो जाता है। प्राचीन भौतिक विज्ञान में कम-से-कम सिद्धान्ततः तो यह सम्भव था कि किसी निकाय के अवयवों के स्थान और उनसे संयुग्मित गत्यात्मक राशियों को निर्धारित करनेवाली राशियों के यौगपदिक ज्ञान के द्वारा किसी परवर्ती क्षण पर उस निकाय की जो अवस्था होनेवाली है उसको हम कठोर[1] गणना के द्वारा पहले से ही जान लें। किसी क्षण $t_0$ पर किसी निकाय की परिलक्षक राशियों के मानों $x$ $y$ को यथार्थतः जान लेने पर पहले हम निश्चित रूप से बता सकते थे कि किसी परवर्ती क्षण $t$ पर उन राशियों को नापने से उनके क्या मान $x$ $y$, पाये जायेंगे। यह परिणाम भौतिक तथा यान्त्रिक सिद्धान्तों के मूल समीकरणों के रूप तथा उन समीकरणों के गणितीय गुणों का था। वर्तमान घटनाओं के द्वारा भविष्य की घटनाओं की बिल्कुल संशयहीन प्रागुक्ति की सम्भावना के द्वारा अर्थात् भविष्य किसी न किसी प्रकार वर्तमान में ही निहित है और उसमें कोई नवीन बात प्रविष्ट नहीं होती इस धारणा के ही द्वारा उस मान्यता की सृष्टि हुई थी जिसे हम प्राकृतिक घटनाओं का नियतिवाद[2] कहते हैं। किन्तु इस संशयहीन प्रागुक्ति के लिए आकाशीय[3] अवस्थापन की चर राशियों के तथा उनसे संयुग्मित गतिकीय राशियों के यौगपदिक मानों का यथातथ ज्ञान आवश्यक है। और क्वाटम सिद्धान्त ठीक इसी ज्ञान को असम्भव बतलाता है। इसी कारण आज प्राकृतिक घटनाओं के परम्परा क्रम और भौतिक सिद्धान्तों की प्रागुक्ति कर सकने की क्षमता के सम्बन्ध में भौतिकज्ञों की (कम से कम उनमें से बहुतों की) विचारधारा में बहुत बड़ा परिवर्तन हो गया है। किसी क्षण $t$ पर निकाय की लाक्षणिक राशियों के नापे हुए मानों में क्वाटम सिद्धान्त के अनुसार कुछ अनिवार्य अनिश्चितता रहती ही है। इस कारण भौतिकज्ञ पहले से यह ठीक-ठीक नहीं बता सकता कि उन राशियों के मान किसी परवर्ती क्षण पर क्या होंगे। वह केवल यही कह सकता है कि किसी परवर्ती क्षण पर नापे हुए मान किन्हीं निर्दिष्ट संख्याओं के बराबर होंगे, इस बात की प्रायिकता[4] कितनी है। जिन नापों से भौतिकज्ञों को

1 Rigorous 2 Determinism 3 Spatial 4 Probability

घटनाओं के पारिमाणिक रूप का ज्ञान होता है उनके उत्तरोत्तर पाये जानेवाले मात्रा का सम्बन्ध अब चिरप्रतिष्ठित नियतिवाद या कार्य-कारण सम्बन्ध नहीं रह गया है। अब यह केवल प्रायिकता का सम्बन्ध है क्योंकि जैसा हम ऊपर बता चुके हैं केवल ऐसा ही सम्बन्ध क्रिया के क्वाटम के अस्तित्व से उत्पन्न अनिश्चितता से अविरुद्ध हो सकता है। इस प्रकार भौतिक नियमों के सम्बन्ध में जो हमारी धारणा थी उसमें अब बहुत बड़ा परिवर्तन हो गया है। हमारा विश्वास है कि इस परिवर्तन के समस्त दार्शनिक परिणामों को पूरी तरह समझने में अभी बहुत देर लगेगी।

सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान के आधुनिक विकास ने दो ऐसे विचारों को जन्म दिया है जिनका उपयोग अत्यन्त व्यापक है—एक तो बोह्र के अर्थ में परिपूरकता[1] और दूसरा धारणाओं की सीमितता[2]। सबसे पहले बोह्र ने ही इस बात को स्पष्ट किया कि तरंग-यान्त्रिकी[3] के विकास ने नवीन क्वाण्टम सिद्धान्त को जो रूप दिया है उसमें कणिकाओं[4] और तरंगों[5] की धारणाएँ अर्थात आकाश और काल में अवस्थापन और सुनिर्दिष्ट गत्यात्मक अवस्थाएँ परस्पर परिपूरक[6] हैं। इससे उनका आशय यह है कि प्रेक्ष्य घटनाओं के अविकल वर्णन के लिए इन दोनों ही धारणाओं का उत्तरोत्तर उपयोग करना आवश्यक तो है किन्तु फिर भी ये धारणाएँ एक प्रकार से असमेय[7] हैं क्योंकि इनके द्वारा हमारे मस्तिष्क में जो प्रतिरूप बनते हैं वास्तविकता के वर्णन में उन दोनों का एक साथ पूर्णत उपयोग कभी नहीं किया जा सकता। उदाहरण के लिए पारमाणविक भौतिक विज्ञान में बहुत बड़ी संख्या ऐसे प्रेक्षित तथ्यों की है जिनका विवेचन केवल कणिकाओं की धारणा की सहायता से ही किया जा सकता है और इसलिए यह धारणा भौतिकज्ञ के लिए अपरित्याज्य समझी जा सकती है। इसी तरह तरंगों की धारणा भी अन्य बहुमूल्यक घटनाओं के विवेचन के लिए उतनी ही अपरित्याज्य है। यदि वास्तविकता पर इन दोनों धारणाओं में से किसी एक का पूर्ण कठोरता से उपयोग किया जाय तो दूसरी को पूर्णत अपवर्जित[8] समझना होगा। किन्तु वस्तुत दोनों ही धारणाएँ घटनाओं के विवेचन के लिए कुछ हद तक लाभदायक सिद्ध हुई हैं और परस्पर पूर्णत विरोधी होने पर भी परिस्थिति के अनुसार कभी एक का और कभी दूसरी का उपयोग विकल्पत वाछनीय है। यही बात आकाश-कालीय अवस्थापन और सुनिर्दिष्ट गत्यात्मक अवस्था के सम्बन्ध

1 Complementarity 2 Limitation of concepts 3 Wave mechanics 4 Corpuscles 5 Waves 6 Complementary 7 Irreconcilable 8 Excluded

मे भी है। कणिकाआ और तरगा की धारणाआ के समान ही ये धारणाएँ भी "परिपूरक" है। इसके अतिरिक्त हम आगे चलकर देखेंगे कि इन दोना प्रकार की धारणाआ में बहुत गहरा सम्बध भी है। यह प्रश्न हो सकता ह कि इन दो परस्पर विरोधी प्रतिरूपा मे सीधी टक्कर कभी क्या नही होती। इसका कारण हम पहले ही बता चुके हैं। दोना परिपूरक प्रतिरूपा का प्रत्यक्ष सामना या नही हा सकता कि दोना प्रतिरूपा को पूणत यथाथ बनाने के लिए आवश्यक समस्त सूक्ष्म अवयवा को एक साथ और एक ही क्षण पर यथातथ नापना सम्भव नही है और यह असम्भवता जो वश्लेषिकीय भाषा में हाइजनबग के अनिश्चितता के अनुबधा के द्वारा व्यक्त होती है क्रिया के क्वाटम के अस्तित्व पर ही पूणत आधारित है। इस प्रकार आधुनिक सद्धान्तिक भौतिकी के विकास मे क्वाटम के आविष्कार का महत्त्वपूण प्रभाव अत्यत स्पष्टता से प्रकट हा जाता है।

बोह्र द्वारा प्रतिपादित परिपूरकताएँ और धारणाआ की सीमितता मे घनिष्ठ सम्बध है। कणिका, तरग, आकाशीय बिदु या सुनिर्दिष्ट गत्यात्मक अवस्थाआ के सरल प्रतिरूप अमूत है आदर्शीकरण मात्र ह। बहुत स विषया में ता ये आदर्शीकरण प्रकृत जगत् में भी सन्निकटत वास्तविक सिद्ध हाते ह। फिर भी उनकी उपयोगिता सीमित होती ह। प्रत्येक ऐस आदर्शीकरण की मायता उसके 'परिपूरक' आदर्शीकरण की मायता के द्वारा सीमित है। इस दष्टि से हम यह कह सकते है कि कणिकाआ का अस्तित्व वास्तविक है क्याकि उनके अस्तित्व को मान लेने से बहुत-सी घटनाओ की व्याख्या हो जाती है। किंतु अय अनेक घटनाआ मे यह कणिका रूप तो बहुत-कुछ छिपा रहता ह और केवल तरग रूप ही प्रकट हाता है। हमारा मस्तिष्क जिन बहुत कुछ योजनात्मक आदर्शीकरणा का निर्माण करता है वे वस्तु-तत्त्वा के कुछ पक्षा का निरूपिन करने में तो समथ हाते है किन्तु उनकी भी अपनी सीमाएँ ह और वे अपने परिदृढ ढाचा मे वास्तविकता की सम्पूण सम्पदा को समाविष्ट नहा कर सकते।

हम नवीन दष्टिकाणा के इस प्रारम्भिक पयवेक्षण को जिसमे हमने क्वाटम भौतिक विज्ञान के विकास की थोडी-सी चासी दिखायी है बहुत अधिक लम्बा नही करना चाहते। इस पुस्तक में आगे चलकर इन प्रश्ना में से एक एक की पुन विशद विवेचना तथा पूण समीक्षा करने का अवसर हमें मिलेगा। जितना हमने यहा कह दिया ह वही पाठक का यह बताने के लिए पयाप्त ह कि क्वाटम सिद्धान्त की उपयोगिता कितनी गहरी ह। इससे न केवल भौतिक विज्ञान की समग्र अधिक

ीवन्त और उत्साहपूर्ण शाखा परमाणविक भौतिकी का उत्तेजना मिली है, किन्तु मने निर्विवाद रूप से हमारी दृष्टि-सीमा का भी विस्तारित कर दिया है और ऐसी ई नवीन विचारधाराओं का भी जन्म दिया है जिनके चिह्न मानव विचारो की ाविष्य प्रगति में निस्सन्देह सदा विद्यमान रहेंगे। इस कारण क्वाटम भौतिकी में वल विशेषज्ञो की ही रुचि नही होनी चाहिए। वह तो सभी सुसस्कृत मनुष्यो के ए ज्ञातव्य वस्तु हो गयी है।

## चिर-प्रतिष्ठित यान्त्रिकी और भौतिकी सन्निकटन[1] मात्र है

अब हम सक्षेप में यह विचार करना चाहते है कि क्वाटम-वैज्ञानिक की दृष्टि इस समय समस्त चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी तथा भौतिकी का मूल्य क्या रह या ह। जिन तथ्यो के लिए इनका निर्माण किया गया था और जिनके सम्बन्ध इनकी सचाई प्रमाणित हो चुकी है उनके क्षेत्र में स्वभावत अब भी इन विज्ञानो ा मूल्य *ज्यो-का त्यो है। क्वाटमो के आविष्कार से भारी पिंडो के पतन सम्बन्धी* ायमो अथवा ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान[2] के नियमो की सत्यता किसी तरह नष्ट ही हो सकती। जब कभी किसी नियम का सत्यापन[3] सन्निकटन की किसी कोटि क निर्विवादत हो जाता है (और प्रत्येक सत्यापन में किसी न किसी कोटि का न्निकटन निहित रहता ही है) तब हम एक निश्चित परिणाम का प्राप्त कर लेते जिसको कोई आगामी परिकल्पना नष्ट नही कर सकती। यदि ऐसा न होता तो सी प्रकार का विज्ञान सभव ही नही हो सकता था। किन्तु यह अच्छी तरह म्भव है कि नवीन प्रायोगिक तथ्यो के अथवा नयी सैद्धान्तिक धारणाओ के कारण में यह मानना पडे कि पहले के सत्यापित नियम सन्निकटत ही सत्य थे अर्थात त्यापन के प्रयोगो की यथार्थता में असीम वृद्धि कर देने पर भी उन नियमो की त्यता अधिक यथार्थतापूर्वक प्रमाणित नही की जा सकती। विज्ञान के इतिहास ऐसा कई बार हो चुका है। इसी प्रकार यद्यपि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के नियम यथा प्रकाश का सरल रेखात्मक गमन) यथार्थतापूर्वक सत्यापित हो चुके थे और श्वास हो गया था कि वे पूर्णत सत्य ह तथापि जिस दिन विवर्तन[4] की घटना का था प्रकाश के तरग रूप का आविष्कार हुआ उसी दिन यह मानना पडा कि ये ायम केवल सन्निकटत ही सत्य है। इस उत्तरोत्तर सन्निकटन की विधि से ही बना पूर्वापर विरोध के विज्ञान की प्रगति सम्भव हुई है। जिन भवनो का विज्ञान

1 Approximation 2 Geometrical optics 3 Verification 4 Diffraction

द्वारा मजबूती से निर्माण हो चुका है वे उत्तरकालीन प्रगति के द्वारा उखाड कर फेंक नही दिये जाते वरन् वे विशालतर भवना मे सन्निविष्ट कर लिये जाते हैं।

चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी और भौतिकी भी इसी प्रकार क्वाटम भौतिकी मे सन्निविष्ट समझे जा सकते हैं। चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी तथा भौतिकी का निमाण उन घटनाआ की व्याख्या के लिए हुआ था जो साधारण मानव मापदडीय क्षेत्र मे होनी रहती हैं। वे इनसे वृहत्तर (खगोलीय) क्षेत्र के लिए भी मान्य हैं। किन्तु जब हम पारमाणविक क्षेत्र में उतर आते ह तब चिरप्रतिष्ठित विज्ञाना की सत्यता क्वाटमा के अस्तित्व के कारण सीमित हो जाती है। ऐसा क्या होता है? इसलिए कि प्लाक[1] के विख्यात नियताक[2] के द्वारा नापे हुए क्रिया के क्वाटम का मान हमारे साधारण मात्रको[3] की अपेक्षा असाधारण रूप से कम है। अर्थात क्वाटम उन सब राशिया की अपेक्षा अत्यन्त छोटा है जो हमारे मानव मापदडीय क्षेत्र मे पायी जाती हैं। क्वाटमा के अस्तित्व के कारण और विशेषकर हाइज़नबग की अनिश्चितताआ के कारण जो विक्षोभ[4] उत्पन्न होते हैं वे मानवीय क्षेत्र की साधारण अवस्थाआ में इतने छाटे हाते है कि उनका हमें पता ही नही चल सकता। वस्तुत वे उन अनिवाय प्रायागिक भूला की अपेक्षा भी अत्यन्त ही छोटे होते है जिनके कारण चिरप्रतिष्ठित नियमा का सत्यापन सदैव सीमित रहता है।

अत क्वाटम सिद्धान्ता की दृष्टि से चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी और भौतिकी सिद्धान्तत पूरी तरह से यथाथ नही मालूम पडती। साधारण अवस्थाआ मे प्रायोगिक भूला के कारण उनकी अयथार्थता इस प्रकार पूरी तरह से छिप जाती है कि मानव मापदड से उन्हें अत्युत्तम सन्निकटन समझा जा सकता है। यह बात फिर वैज्ञानिक प्रगति की उसी नियमित परम्परा का निदशन करती है जिसमें सुसस्थापित सिद्धान्त और सु-सत्यापित नियम ज्यो-के-त्या सुरक्षित तो रहते है किन्तु उन्हें कुछ विशेष प्रकार की घटनाआ के लिए उपयोगी सन्निकटना के रूप में ही सत्य समझा जा सकता है।

साधारण मानवीय क्षेत्र में क्वाटमा का हस्तक्षेप न होने से चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी और भौतिकी में आभासी सत्यता दिखाई देती ह उससे शायद हमें यह कहने का प्रलोभन हो सकता है कि "वस्तुत क्वाटमा को जितना महत्त्व दिया जाना है उतना उनमें है नही क्योकि जिस विशाल क्षेत्र में चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी और

1 Planck 2 Constant 3 Unit 4 Perturbation

भौतिकी सत्य है और विशेषत जिस क्षेत्र में उनका व्यावहारिक उपयोग होता है उसमें क्वाटमा की पूर्णरूप से उपेक्षा की जा सकती।" किन्तु इस विषय को इस नज़र से देखना हमें युक्तिसगत नही मालूम होता। सबसे पहले तो पारमाणविक और नाभिकीय[1] भौतिक विज्ञान के समान महत्त्वपूर्ण प्राणवान और भविष्य सम्भावनाओ* से परिपूर्ण क्षेत्र में क्वाटमा की अनिवार्य उपयोगिता है और बिना इनकी सहायता के घटनाओ की व्याख्या पूर्णत असम्भव है। फिर स्थूल मापदडीय भौतिकी में भी यद्यपि क्वाटम अपनी सूक्ष्मता के तथा नापने की प्रक्रिया में उपस्थित अनिवार्य अनिश्चितता के कारण अप्रकट ही रहते है तथापि वे विद्यमान तो होते है और उनके अस्तित्व के फलस्वरूप सिद्धान्तत वे सब परिणाम भी उपस्थित रहते ही है जिनका हम ऊपर गिना चुके है। यद्यपि व्यवहार में इनका कोई प्रभाव अनुभव-गम्य नही होता तथापि इस बात से उनकी व्यापक दार्शनिक उपयोगिता में कोई कमी नही आती। अत आजकल क्रिया के क्वान्टम का ज्ञान और उसका अध्ययन प्राकृतिक विज्ञान का एक आवश्यक आधार है।

1 Nuclear

*यह वाक्य दस वर्ष पहले लिखा गया था। परमाणु बम के आधुनिक प्रत्यक्षीकरण से यह भली भाँति प्रकट हो गया है कि व्यावहारिक अनुप्रयोग के क्षेत्र में पारमाणविक तथा नाभिकीय भौतिक विज्ञान की प्रगति के कितने गहरे परिणाम हो सकते है। (यह नोट १९४६ में जोड़ा गया था)

# पहला परिच्छेद

## चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी[1]

### 1 गतिमिति तथा गतिविज्ञान[2]

हमारा यह उद्देश्य बिल्कुल भी नहीं है कि इस छोटे से परिच्छेद में चिरप्रतिष्ठित गतिविज्ञान के सिद्धान्तों का संक्षेप में भी निरूपण या उनकी आलोचना करने का प्रयत्न करें। इनमें से प्रत्येक पर ही न्याय के लिए एक पूरी पुस्तक भी पर्याप्त नहीं होगी। इसके अतिरिक्त यह काम कई प्रतिष्ठित विद्वान् पहले ही कर चुके हैं। हम केवल कुछ ऐसी विशेष बातों पर जोर देना चाहते हैं जो हमें प्रस्तुत विषय के दृष्टिकोण से रोचक जान पड़ती हैं।

वर्तमान यान्त्रिकी की पुस्तकों में इस विषय को दो अलग-अलग असमान अध्ययनों में विभाजित किया गया है—एक तो गतिमिति का अध्ययन और दूसरा गतिविज्ञान का अध्ययन जिसे 'गतिकी' भी कहते हैं। स्थितिकी[3] इसी का एक विशेष रूप है। चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के इस विभाजन पर थोड़ा विचार करना आवश्यक है क्योंकि यह उन परिकल्पनाओं पर आधारित है जिनके विषय में हम भूमिका में पहले ही इंगित कर चुके हैं कि क्वाण्टम दृष्टिकोण से अब वे युक्ति-संगत नहीं मालूम होतीं। वास्तव में गतिमिति क्या है और इसका अध्ययन गतिविज्ञान के अध्ययन से पहले क्यों आवश्यक समझा गया है? परिभाषा के अनुसार गतिमिति में त्रिविमितीय आकाश[4] के संस्थान में उन गतियों का अध्ययन किया जाता है जो काल के प्रवाह में सम्पन्न होती रहती हैं। यह अध्ययन ऐसी गतियों के भौतिक नियमों से सर्वथा स्वतन्त्र अथवा निरपेक्ष होता है। गतिविज्ञान से पहले ही गतिमिति का अध्ययन करना पूर्णतः स्वाभाविक मालूम होता है क्योंकि सर्वथा तर्क-संगत यही प्रतीत

1 Classical Mechanics 2 Kinematics and Dynamics 3 Statics
4 Three dimensional Space

होता है कि आकाश मे होनेवाली विभिन्न गतियो का निरपेक्ष अध्ययन कर लेने के बाद ही यह प्रश्न उठाया जाय कि किन कारणो से और किन नियमो के अनुसार अमुक परिस्थिति मे अमुक प्रकार की गति वस्तुन उत्पन्न होती है। यह दृष्टिकोण कितना ही स्वाभाविक क्यो न मालूम हो, फिर भी इसम एक ऐसी परिकल्पना गर्भित है जिसकी तरफ वर्तमान काल से पहले प्रखरतम बुद्धिवाले मस्तिष्को का भी ध्यान नही गया था। यह तो प्रत्यक्ष ही है कि गणितज्ञ त्रिविमितीय (थ्री डाइमशनल) आकाश में होनेवाली गति का अध्ययन किसी ऐसे प्राचल[1] के फलन[2] के रूप में अध्ययन कर सकता है जिसका काल से तादात्म्य स्थापित किया जा सकता है। किन्तु जब हम भौतिक वस्तुओ की वास्तविक गति का अध्ययन करना चाहते है तब यह प्रश्न उपस्थित होता है कि क्या ऐसा निरपेक्ष अध्ययन वास्तव में व्यवहारोपयोगी है। वस्तुत गतिमिति से गति विज्ञान के चिरप्रतिष्ठित सक्रमण म यह परिकल्पना निहित है कि त्रिविमितीय आकाश और काल के निरपेक्ष सस्थान मे भौतिक वस्तुओ का अवस्थापन उन भौतिक वस्तुओ के निजी गुणो (यथा द्रव्यमान[3]) से स्वतन्त्र रूप में सभव है। यह तो निश्चित है कि जो साधारण भौतिक मापदडीय वस्तुएँ हमारे चारो ओर विद्यमान है उनका तो आकाश और काल में अवस्थापन बिना कठिनाई के हो ही सकता है। इन्ही वस्तुओ—विशेषत ठोस वस्तुओ—के गुणो से ही तो हम उस त्रिविमितीय आकाश की कल्पना करने में समर्थ हुए है जिसमें ये वस्तुएँ अवस्थित है और इन्ही वस्तुओ की विभिन्न गतियो के द्वारा ही हम काल के प्रवाह और उसके माप की यथार्थता-पूर्ण परिभाषा भी दे सके है। अत यह नितान्त स्वाभाविक है कि इन वस्तुओ के लिए वैज्ञानिक यान्त्रिकी की विधि फलवती हो और उससे वे सब सफलताएँ प्राप्त हो जिनसे हम सुपरिचित है। किन्तु यह अत्यन्त साहसिक अतिक्रम होगा यदि परमाणविक भौतिकी के विकास के प्रारम्भ काल के समान ही आज भी हम यह समझे कि त्रिविमितीय आकाश में और काल में भौतिक वस्तुओ के अवस्थापन की सम्भावना को द्रव्य की सूक्ष्म कणिकाओ अर्थात् असाधारण रूप से हल्की वस्तुओ के लिए भी अपरिवर्तित रूप में विस्तारित किया जा सकता है। वास्तव में आकाश और काल की चिरप्रतिष्ठित धारणाएँ इन चरम-सूक्ष्म वस्तुओ के लिए अब मान्य नही है और अब उनका उपयोग करने के लिए हमें अनेक प्रतिबन्धो और अनिश्चितताओ को स्वीकार करना आवश्यक हो गया है। यही बात सर्वाधिक सिद्धान्त का सबसे अधिक

1 Parameter 2 Function 3 Mass

विचित्रता है। आगे चलकर हमें इस प्रश्न पर अधिक विस्तारपूर्वक विचार करना पड़ेगा। इस समय तो यह बता देना ही पर्याप्त होगा कि भौतिक वस्तुओं की गतियों के वर्णन और अध्ययन के लिए चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी ने जो मार्ग ग्रहण किया था वह जिस प्रच्छन्न परिकल्पना पर आधारित था उसकी सत्यता केवल साधारण मापदंडीय वस्तुओं के लिए ही सुनिश्चित है।

## २ द्रव्य-विन्दु के गति-विज्ञान सम्बन्धी न्यूटन के नियम

आकाश और काल के सस्थान में भौतिक वस्तुओं का यथार्थतापूर्वक निरूपित करने की सभावना का आधार मानकर चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी अपना अध्ययन उस सरलतम अवस्था में प्रारम्भ करती है जिसमें भौतिक वस्तु का द्रव्यमान[1] तो उपेक्षणीय न हो, किन्तु विस्तार उपेक्षणीय हो। गति विज्ञान के नियमों के स्पष्टीकरण के प्रारम्भ में ही वैज्ञानिक यान्त्रिकी में द्रव्य की मूल कणिका की जो रूपरेखा इस प्रकार प्रस्तुत की जाती है वह द्रव्य की असतत[2] सरचना की धारणा से सर्वथा संगत है और जब आज से आधी शताब्दी पहले भौतिक विज्ञान के जिज्ञासु द्रव्य को गतिशील मूल-कणिकाओं के समुदाय के रूप में चित्रित करने का प्रयत्न कर रहे थे तब द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान ने उनके सैद्धान्तिक अनुसंधानों के लिए आवश्यक साधन सहज में ही प्रस्तुत कर दिया था।

द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान का प्रारम्भ अवस्थितित्व[3] के नियम से होता है जिसके अनुसार जब तक किसी द्रव्य विन्दु पर किसी बाह्य क्रिया का प्रभाव न पड़े तब तक वह काल के प्रवाह में अपनी गति अथवा स्थिति की अवस्था को ज्यों-की-त्यों सुरक्षित रखता है। कम से कम यह उक्ति उस समय तो यथार्थ है ही जब द्रव्य विन्दु की गति उन निर्देशाक-तत्रों[4] के द्वारा व्यक्त की जाती है जिन्हें गैलीलीय-तत्र[5] कहते हैं यथा वह तत्र जो अचल नक्षत्र-समूह में आबद्ध है। इन गैलीलीय तत्रों की अधिमान्यता की व्याख्या निम्न प्रकार की गयी थी—जिस निर्विमितीय आकाश में भौतिक वस्तुओं का अवस्थापन किया जाता है उसको निरपेक्ष समझने के कारण गैलीलीय तत्र की निर्देशाक्षें[6] उस निरपेक्ष आकाश की अपेक्षा या तो अचल होती हैं या अचर वेग से सरल रेखा में गमन करती हैं।

अवस्थितित्व के सिद्धान्त के अनुसार स्वतन्त्र द्रव्य विन्दु की गति सरल रेखात्मक

1 Mass 2 Discontinuous 3 Inertia 4 Systems of Coordinates 5 Galilean System 6 Coordinate axis

होती है और उसका वेग अपरिवर्ती होता है। वेग का मान शून्य हो जाने पर उसकी अवस्था विराम अवस्था कहलाती है। अत यह समझ लेना बहुत स्वाभाविक है कि यदि उस द्रव्य विन्दु पर कोई बल लगाया जाय तो उस बल का परिणाम यह होगा कि उसका वेग बदल जायगा। इसके लिए जो सरलतम परिकल्पना[1] स्वीकार कर ली गयी है वह यह है कि वेग का तात्कालिक परिवतन बल का अनुपाती होता ह और जितने ही अधिक अवस्थितित्व के द्वारा वह द्रव्य विन्दु इस परिवतन का विरोध करता है उतना ही इस वेग-बल-अनुपात के गुणाक का मान भी छोटा होता ह। इस प्रकार एक अवस्थितित्व गुणाक (अर्थात् द्रव्य मान) के द्वारा उस द्रव्य विन्दु को परिलक्षित करने की प्रवत्ति उत्पन्न होती है। फलत द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान का मूल नियम यह हो जाता है—प्रत्येक क्षण पर द्रव्य विन्दु का त्वरण[2] उस पर लगनेवाले बल में उसके द्रव्यमान का भाग देने से प्राप्त भागफल के बराबर होता ह। यह ध्यान देने योग्य बात है कि गति विज्ञान में द्रव्यमान का गुणाक, जिसका काय द्रव्य विन्दु को गतिकीय दृष्टिकोण से परिलक्षित करना है, बाद में प्रविष्ट हुआ ह अर्थात् उस द्रव्य विन्दु के सुनिश्चित स्थान गमन-पथ वेग तथा त्वरण के अस्तित्व को मान लेने के बाद। यह बात उस व्यवस्था के अनुकूल है जिसमें गतिमिति को गति विज्ञान से पूर्ववर्ती समझा जाता है।

द्रव्य विन्दु के चिरप्रतिष्ठित गतिकीय समीकरण यह बताते ह कि उस विन्दु के द्रव्यमान का और उसके त्वरण के किसी भी समकोणिक सघटक[3] का गुणनफल बल के तदानुषंगिक[4] सघटक के बराबर होता है। यदि समय के सब मानो के लिए प्रत्येक स्थान पर बल ज्ञात समझ लिया जाय तो हमें समय-सापेक्ष द्वितीय श्रेणी[5] के तीन अवकल-समीकरणो के सघ का हल निकालना होगा जिसमें अज्ञात राशियां उस विन्दु के निर्देशाक[6] होगे। वैश्लेषिक गणित का एक प्रख्यात प्रमेय हमें यह बताता है कि यदि किसी प्रारम्भिक क्षण पर निर्देशाको के तथा उनके काल सापेक्ष व्युत्पन्नो[7] अथवा अवकलजो के मान ज्ञात हो तो उस समीकरण-सघ का हल पूर्णत निर्णीत[8] होता है। अर्थात यदि किसी भी एक क्षण पर किसी द्रव्य विन्दु का स्थान और वेग ज्ञात समझे जायें तो उसकी परवर्ती गति की प्रागुक्ति पूर्णत सम्भव ह। यह परिणाम इस बात का द्योतक है कि द्रव्य विन्दु का चिरप्रतिष्ठित गति विज्ञान भौतिक नियतिवाद की परिकल्पना के सर्वथा अनुकूल ह। इस

1 Hypothesis 2 Acceleration 3 Component 4 Corresponding
5 Second order 6 Coordinates 7 Derivatives 8 Determinate

परिकल्पना के अनुसार यदि भौतिक जगत की वतमान स्थिति के सम्बन्ध मे कुछ न्यासा[1] का ज्ञान विद्यमान हो तो उसकी आगामी स्थिति के विषय मे निश्चित रूप से भविष्यवाणी सम्भव होनी चाहिए।

यहा एक और बात भी कह देना उचित है। द्रव्य बिन्दु का ज्यामितीय बिन्दु मान लेने के कारण उसका गमन पथ ऐसी रेखा हो जाता है जो त्रिविमितीय आकाश में केवल एक विमितीय सातत्यक[2] का अन्वेषण करती है। गमनपथ के प्रत्येक बिन्दु पर बल के जिस मान का प्रभाव द्रव्य बिन्दु पर पडता है वही परवर्ती अनन्त-सूक्ष्म क्षण में होनेवाली उसकी गति का निर्णीत करता है। अत वह द्रव्य बिन्दु बल क्षेत्र का अन्वेषण केवल अपने गमन पथ पर ही करता है। फिर भी यह कहा जा सकता है कि वास्तव मे उसकी गति गमन पथ के अत्यन्त निकटवर्ती प्रदेश के बल क्षेत्र पर भी अवलम्बित होती है। क्योकि समस्त भौतिक समस्याओ मे साधारणत बल क्षेत्र का आकाश में इस प्रकार सतत परिवर्तन होता है कि गमन पथ के किसी भी बिन्दु पर बल का मान गमन पथ से अव्यवहित प्रतिवेश के बल मानो से स्वतन्त्र नही होता। यह बात उन बहुधा घटनेवाली अवस्थाओ में तो स्पष्टत प्रकट हो जाती है जिनमें बल किसी विभव[3] का व्युत्पन्न होता है अथात जिनमे किसी भी बिन्दु पर बल का मूल्य उस बिन्दु के स्थान के किसी विशिष्ट फलन[4] की प्रवणता[5] के बराबर होता है। सच तो यह है कि प्रवणता की परिभाषा मे यह पहले से ही मान लिया जाता है कि विचाराधीन बल जिस बिन्दु पर लगता है वह अनन्तत अल्प मात्रा मे इधर उधर विचरित किया जा सकता है। इसलिए गमन पथ के प्रत्येक बिन्दु पर बल का मान गमन पथ से अव्यवहित प्रतिवशी प्रदेश के विभव के मानो पर अवश्य ही अवलम्बित रहता है। न्यूनतम क्रिया के नियम[6] के द्वारा भी जिसका वणन हम आगे चलकर करेंगे यही परिणाम निकलता है क्योकि इस सिद्धान्त के अनुसार किसी द्रव्य बिन्दु के वास्तविक गमन पथ अथात गति विज्ञान के नियमो द्वारा निर्दिष्ट गमन पथ का उससे अनन्तत निकटवर्ती कल्पित गमन पथो से तुलना करके ही निर्णीत किया जाता है और गति का इस प्रकार निर्णीत करने में वास्तविक गमन-पथ से अनन्तत निकटवर्ती पूरे प्रदेश का प्रभाव भी निहित रहता है। किन्तु चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी में उन स्थानीय विलक्षणताओ[7] का गति पर कुछ भी प्रभाव नही पड माना जा द्रव्य बिन्दु के गमन-पथ से परिमित[8] दूरी पर अवस्थित हो। उदाहरण

1 Data 2 Continuum 3 Potential 4 Function 5 Gradient
6 Principle of least action 7 Singularities 8 Finite

के लिए मान लीजिए कि द्रव्य बिन्दु के गमन-पथ में छोटे से छिद्रवाला एक परदा रख दिया गया है। यदि गमन पथ इस छिद्र के केन्द्र में से जाता हो तो परदे द्वारा प्रस्तुत स्थानीय विलक्षणता गमन-पथ में कोई विकार उत्पन्न नहीं करेगी। विपरीत इसके यदि गमन पथ छिद्र की कोर के अत्यन्त निकट से जाता हो तो वह टेढ़ा हो जायगा और प्रचलित भाषा में हम यह कहते हैं कि कणिका छिद्र की कोर से थोड़ी सी मुड़ जाती है। किन्तु चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी में इस बात की कल्पना भी नहीं की जा सकती है कि उस छेद में से गुजरनेवाले द्रव्य बिन्दु की गति उस छेद से परिमित दूरी पर अवस्थित अन्य छेदों के अस्तित्व पर अवलम्बित हो सकती है। इस वक्तव्य का महत्त्व तुरन्त समझ में आ जाता है क्योंकि यंग[1] के व्यतिकरण प्रयोग[2] के कणिका मूलक निर्वचन[3] का इससे स्पष्ट सम्बन्ध है और तरंग-गतिकी[4] भविष्य में जो कुछ बातें हमारे समक्ष इस सम्बन्ध में प्रस्तुत करेगी उसका पूर्व परिचय भी मिल जाता है। द्रव्य बिन्दु के चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकीय समीकरणों के द्वारा द्रव्य बिन्दु की गति को परिलक्षित करनेवाली दो गतिकीय राशियों की धारणा उत्पन्न हुई है। इनमें से पहली तो एक दिष्ट राशि[5] है जिसका नाम संवेग[6] है और चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी में इसकी परिभाषा यह है कि संवेग द्रव्य बिन्दु के द्रव्य मान तथा वेग का गुणनफल है। इस राशि का महत्त्व गति के समीकरणों से ही उत्पन्न हुआ है। क्योंकि इन समीकरणों को यह कहकर भी व्यक्त किया जा सकता है कि संवेग का काल-सापेक्ष अवकल-गुणांक[7] द्रव्य बिन्दु पर लगनेवाले बल के बराबर रहता है। प्रकट है कि चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त में यह गतिकीय राशि गतिमितीय राशि वेग के द्रव्यमान के गुणांक द्वारा सरल गुणन की सहायता से प्राप्त की गयी है। तथापि वेग और संवेग की प्रकृतियों में एक भारी अन्तर दिखाई देता है, क्योंकि इनमें से द्वितीय राशि किसी विशिष्ट द्रव्य बिन्दु के निजी गतिकीय गुणों को प्रकट करती है।

यही बात उस दूसरी राशि (ऊर्जा[8]) पर भी लागू है जिसकी ओर हम ऊपर इंगित कर चुके हैं। यह राशि अदिष्ट[9] है और जिस महत्त्वपूर्ण अवस्था में बल किसी विभव फलन[10] से व्युत्पन्न होता है उसमें इस राशि का काम परम आवश्यक है। यदि प्रत्येक बिन्दु पर विभव में काल-सापेक्ष परिवर्तन नहीं होता हो तो गति-समीकरणों से तुरन्त यह परिणाम निकलता है कि द्रव्य बिन्दु की अवस्था द्वारा निर्दिष्ट एक विशिष्ट

1 Young 2 Interference experiment 3 Corpuscular Interpretation 4 Wave mechanics 5 Vectorial quantity 6 Momentum 7 Differential co-efficient 8 Energy 9 Scalar 10 Potential function

आगे हम देखेंगे कि आधुनिक क्वांटम सिद्धान्त में ये राशियाँ सर्वथा भिन्न रूप से प्रकट होती हैं।

## ३ द्रव्य-विन्दु-निकायों का गति-विज्ञान[1]

द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान में हम यह मान लेते हैं कि प्रत्येक क्षण पर और प्रत्येक आकाशीय विन्दु पर बल क्षेत्र का मान निश्चित है। किन्तु चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकीय धारणाओं के अनुसार जो बल-क्षेत्र किसी द्रव्य विन्दु पर कार्य करता है वह स्वयं अन्य द्रव्य विन्दुओं द्वारा उत्पन्न होता है। इस प्रकार हमें स्वभावत परस्पर प्रभावकारी द्रव्य विन्दुओं के निकायों की कल्पना करना पड़ता है और उनकी सभाय गतियों का निर्णय करना पड़ता है। सरसरी दृष्टि से यह समस्या जटिल मालूम हो सकती है क्योंकि इस निकाय का प्रत्येक द्रव्य विन्दु इसी निकाय के अन्य द्रव्य विन्दुओं के प्रभाव से विस्थापित होता है और इस विस्थापन का यह परिणाम होता है कि किसी एक द्रव्य विन्दु द्वारा अन्य द्रव्य विन्दुओं पर लगनेवाले समस्त बल बदल जाते हैं। फिर भी वैश्लेषिक दृष्टिकोण से यह समस्या सरल रूप में प्रस्तुत की जा सकती है। हम यों कहेंगे कि प्रत्येक द्रव्य विन्दु के लिए प्रत्येक क्षण पर द्रव्यमान और त्वरण का गुणनफल उस पर लगनेवाले तात्क्षणिक बल के बराबर होता है। स्वभावत ही यह बल उस निकाय के अन्य द्रव्य विन्दुओं के स्थानों पर अवलम्बित होता है। इस प्रकार N संख्यक द्रव्य विन्दुओं के निकाय के लिए हमें उन N द्रव्य विन्दुओं के 3 N निर्देशांकों के काल सापेक्ष द्वितीय श्रेणी[2] के 3 N अवकल-समीकरणों का संघ प्राप्त हो जाता है। यदि किसी क्षण विशेष पर उस निकाय के समस्त द्रव्य विन्दुओं के स्थान और वेग हमें ज्ञात हो तो गणितीय विश्लेषण प्रकट करता है कि इस समीकरण-संघ का पूर्णत निर्णीत हल प्राप्त हो सकता है। और इस प्रकार अकेले एक द्रव्य विन्दु की गति के लिए जो यान्त्रिक प्राक् निर्णीतता[3] स्थापित हो चुकी है वही अनेक द्रव्य विन्दुओं के निकाय के लिए भी विस्तारित हो जाती है।

द्रव्य विन्दु निकायों की गतियों का अध्ययन गुरुत्व-केन्द्र[4] पर विचार करने से बहुत ही सरल हो जाता है। यह ज्ञात ही है कि गुरुत्व केन्द्र उस निकाय के समस्त विन्दुओं का भारित माध्य[5] स्थान होता है। यदि निकाय पर बाह्य बल न लग रहा हो तो इस विन्दु की गति सरल रेखात्मक तथा अचर वेगवाली प्रमाणित होती है।

1 The Dynamics of Systems of Material Points 2 Order 3 Determinism 4 Centre of gravity 5 Weighted mean

यह यांत्रिकी में निविष्ट बलों के उस व्यापक गुण का परिणाम है जिसे क्रिया[1] और प्रतिक्रियाओं[2] की समता के नियम के द्वारा व्यक्त किया जाता है। इस नियम के अनुसार कोई द्रव्य बिन्दु के जितना बल किसी अन्य द्रव्य बिन्दु के पर लगाता है ठीक उतना ही विपरीत बल उस पर भी वह लगाता है। जब उस निकाय में स्थितिज ऊर्जा[3] विद्यमान होती है तब इस नियम का महत्व यह मान लेना है कि यह स्थितिज ऊर्जा केवल उन द्रव्य बिन्दुओं की पारस्परिक दूरियों पर ही अवलम्बित होती है और यह परिकल्पना भौतिक दृष्टिकोण से बहुत स्वाभाविक भी है। इस प्रकार शुद्ध यांत्रिकी[4] में किसी निकाय की गति का निर्धारण करने की समस्या दो भागों में विभाजित की जा सकती है। पहले तो गुरुत्व-केन्द्र की गति का अध्ययन कर लिया जाता है और तब उसी गुरुत्व-केन्द्र के परितः निकाय के घूर्णन की गति का अध्ययन किया जाता है। गुणित स्थान प्रमेयों की एक पूरी शृंखला के द्वारा यह अध्ययन सुकर हो गया है।

द्रव्य बिन्दु निकाय के संवेग की अति सरल परिभाषा यह है कि वह निकाय के अवयव बिन्दुओं के संवेगों का ज्यामितीय योग[5] होता है। प्रत्येक बिन्दु के द्रव्यमान और वेग के गुणनफलों के योग से उसका व्यंजक[6] बनता है। इस व्यंजक में सदिश वेग की धारणा का उपयोग होता है। और निकाय की ऊर्जा में सदैव एक गतिज भाग निविष्ट रहता है जो विभिन्न द्रव्य बिन्दुओं की गतिज ऊर्जाओं के योग के बराबर होता है। इसका व्यंजक प्रत्येक बिन्दु के द्रव्यमान के और वेग के वर्ग[7] के गुणनफलों के योग के आधे के बराबर होता है। किन्तु यदि निकाय स्थिरांक हो तो उसकी ऊर्जा में एक भाग स्थितिज ऊर्जा का भी होता है जो स्वयं भी दो भागों में विभक्त होता है। पहला भाग तो उन स्थितिज ऊर्जाओं के जोड़ के बराबर होता है जो सम्पूर्ण निकाय पर प्रभावकारी बाह्य बल-क्षेत्र के कारण प्रत्येक द्रव्य बिन्दु में विद्यमान होती है। स्थितिज ऊर्जा का दूसरा भाग सब द्रव्य बिन्दुओं की पारस्परिक ऊर्जा[8] है जो दो-दो बिन्दुओं के प्रत्येक युग्म की पारस्परिक स्थितिज ऊर्जाओं के जोड़ के बराबर होती है। बाह्य बल-क्षेत्र के अभाव में केवल यह दूसरा भाग ही विद्यमान रहता है। सबसे अधिक उल्लेखनीय बात यह है कि यह पारस्परिक स्थितिज ऊर्जा प्रत्येक द्रव्य बिन्दु में अलग-अलग समारोपित स्थितिज ऊर्जाओं के जोड़ के रूप में विघटित नहीं हो सकती। प्रत्येक अन्योन्य प्रभावक[9] बिन्दु-युग्म के लिए स्थितिज ऊर्जा का एक प्रकार का सकोपण[10] हो जाता है जिसके कारण उन द्रव्य बिन्दुओं के

1 Action 2 Reaction 3 Potential energy 4 Rational Mechanics 5 Geometrical sum 6 Expression 7 Square 8 Mutual energy 9 Interacting 10 Pooling

आगे हम देखेंगे कि आधुनिक क्वाटम सिद्धान्त में ये राशियाँ सर्वथा [illegible]
प्रकट होती है।

## ३ द्रव्य-बिन्दु-निकायो का गति-विज्ञान[1]

द्रव्य बिन्दु के गति विज्ञान में हम यह मान लेते हैं कि प्रत्येक क्षण
प्रत्येक आकाशीय बिन्दु पर बल-क्षेत्र का मान निश्चित है। किन्तु
यान्त्रिकीय धारणाओं के अनुसार जो बल-क्षेत्र किसी द्रव्य बिन्दु पर
वह स्वय अन्य द्रव्य-बिन्दुओं द्वारा उत्पन्न होता है। इस प्रकार [illegible]
प्रभावकारी द्रव्य बिन्दुओं के निकायो की कल्पना करना पडता है और
गतियो का निर्णय करना पडता है। सरसरी दृष्टि से यह समस्या
सकती है क्योकि इस निकाय का प्रत्येक द्रव्य बिन्दु इसी निकाय
बिन्दुओ के प्रभाव से विस्थापित होता है और इस विस्थापन का यह
है कि किसी एक द्रव्य बिन्दु द्वारा अन्य द्रव्य-बिन्दुओ पर लगनेवाले
जाते हैं। फिर भी वैश्लेषिक दृष्टिकोण से यह समस्या सरल रूप
सकती है। हम यो कहेंगे कि प्रत्येक द्रव्य बिन्दु के लिए प्रत्येक
और त्वरण का गुणनफल उस पर लगनेवाले तात्क्षणिक बल के
स्वभावत ही यह बल उस निकाय के अन्य द्रव्य बिन्दुओ के
होता है। इस प्रकार N सख्यक द्रव्य बिन्दुओं के निकाय के लिए
बिन्दुओं के 3 N निर्देशाको के काल-सापेक्ष द्वितीय श्रेणी[2] के 3 N
का सघ प्राप्त हो जाता है। यदि किसी क्षण विशेष पर
द्रव्य बिन्दुओं के स्थान और वेग हमें ज्ञात हो तो गणितीय
कि इस समीकरण-सघ का पूर्णत निर्णीत हल प्राप्त हो सकता
अकेले एक द्रव्य बिन्दु की गति के लिए जो यान्त्रिक
चुकी है वही अनेक द्रव्य बिन्दुओं के निकाय के

द्रव्य बिन्दु निकायो की गतियो का अध्ययन
बहुत ही सरल हो जाता है। यह ज्ञात ही है कि गुरुत्व
बिन्दुओं का भारित माध्य[5] स्थान होता है। यदि निकाय
हो तो इस बिन्दु की गति सरल रेखात्मक तथा अचर

1 The Dynamics of Systems of Material . . . minimum 4 Centre of gravity 5 Weighted

तथापि यह मान लेना बडी साहसिक परिकल्पना है कि ठोस वस्तुओ के प्रेक्षण से प्राप्त और परिशोधित आकाश-कालीय धारणाएँ अपरिवर्तित रूप मे मूल-कणिकाओ और द्रव्य बिन्दुओ पर भी लागू होगी। यह भली भाति स्वीकार किया जा सकता है कि मूल कणिकाओ पर लागू करने के लिए उन धारणाओ में अत्यन्त गहन परिवर्तन की आवश्यकता हो सकती है। केवल यही एक शर्त अनिवार्य है कि ये धारणाएँ ऐसी ही रहे कि मूल कणिकाओ के गुणो को मान लेने पर उनके द्वारा ही अनेक कणिकाओ के निकाय में भौतिक वस्तुओ के—विशेषत ठोस वस्तुओ के—समस्त ज्ञात गुण तथा आकाश और काल की साधारण परिभाषाएँ पुन प्राप्त हो सके। इस दृष्टिकोण के महत्त्व पर जीन लुई डिस्टू शे[1] ने हाल मे ही बहुत जोर दिया है किन्तु सम्भवत यह चिरप्रतिष्ठित शुद्ध यान्त्रिकी द्वारा प्रतिपादित विधि के विरुद्ध कोई वास्तविक आपत्ति उपस्थित नही करता क्योकि उसमें द्रव्य बिन्दु को मूल कणिका न मानकर उसकी यह परिभाषा दी जा सकती है कि वह द्रव्य का उपेक्षणीय आकारवाला छोटा सा टुकडा तो होता है किन्तु उसमे मूल कणिकाओ की प्रचुर सख्या विद्यमान रहती है। किन्तु पारमाणविक भौतिक विज्ञान मे जब हम मूल कणिकाओ के अस्तित्व को मानकर उन कणिकाओ पर उन द्रव्य बिन्दुओ की चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी के नियम अथवा आकाश तथा काल की साधारण धारणाओ पर अवलम्बित किसी अन्य प्रकार के नियम लागू करने लगते है तब इस आपत्ति की प्रबलता ज्यो की त्यो बनी रहती है। इस प्रश्न की अधिक विस्तृत विवेचना करने का अवसर हमे फिर मिलेगा। इसलिए यहा अधिक न कहकर हम भौतिक निकायो के गति विज्ञान विषयक इन वक्तव्यो को यही समाप्त कर देते है।

## ४ वैश्लेषिक यान्त्रिकी और याकोबी[2] का सिद्धान्त

वैश्लेषिक यान्त्रिकी जिसके साथ लाग्राज[3] जैसे महान व्यक्ति का नाम जुटा हुआ है, मुख्यत उन विधियो का समुच्चय है जिनकी सहायता से किसी भौतिक निकाय के समीकरण शीघ्रता से लिखे जा सकते है यदि हमें उस निकाय के स्थान को निर्णीत करनेवाले चरो[4] के विचरण[5] का ज्ञान हो।

यहा हमें यह किसी तरह भी अभीष्ट नही है कि हम वैश्लेषिक यान्त्रिकी की विधियो की विस्तृत विवेचना करें। अत हम अपने वक्तव्य को केवल यह कहकर

1 Jean Louis Destouches 2 Jacobi 3 Lagrange 4 Variables
5 Variation

निजत्व का एक प्रकार से ह्रास हो जाता है। स्थितिज ऊर्जा के कुछ भाग का यह सकोपण एसा गुण है जो सब अन्योन्य प्रभावक द्रव्य विन्दुओ के निकायो में लाक्षणिक रूप से पाया जाता है और इसी के द्वारा किसी वाह्य-क्षेत्र में अवस्थित पारस्परिक प्रतिक्रिया हीन द्रव्य विन्दु समुदाय से अन्योन्य प्रभावक निकाय की विभिन्नता व्यक्त होती है।

द्रव्य विन्दु-निकायो के गति-विज्ञान पर ही ठोस वस्तुओ का गति विज्ञान आधारित है। ठोस वस्तुएँ ऐसे द्रव्य विन्दुओ से वनी हुई समझी जा सकती है जिनकी पारस्परिक दूरिया वदल नही सकती क्योकि इन दूरियो में प्रकृत माना की अपेक्षा थोडी भी घट-वढ होते ही द्रव्य विन्दुओ का पारस्परिक वल अत्यधिक वढ जाता है। पारस्परिक दूरियो के अपरिवर्ती होने के कारण किसी भी ठोस वस्तु का स्थान प्रत्येक क्षण पर केवल ६ प्राचलो[1] के द्वारा परिलक्षित हो सकता है—यथा उस वस्तु के किसी भी यदच्छ विन्दु के तीन निर्देशाक तथा उस विन्दु के परित वस्तु का अन स्थापन[2] निधारित करनेवाले तीन कोण। जव समस्या अनेक ठोस वस्तुओ की हो और इन विभिन्न वस्तुओ के वीच में कोई नियत्रक[3] वधन भी विद्यमान हो तव अधिक-सख्यक प्राचलो का निवेशन वाछनीय होता है। किन्तु जिन द्रव्य विन्दुओ द्वारा वे ठोस वस्तुएँ निर्मित समझी जायें उनके गति-समीकरणो से प्रारम्भ करके उस वस्तु निकाय के गति-समीकरण सदव लिखे जा सकते है।

इस प्रकार पारमाणविक भौतिक विज्ञान की प्रगति के पहले ही द्रव्य का असतत[4] सरचना मानकर ठोस वस्तुओ की यान्त्रिकी का विकास किया गया था। यही यह वात कह देना लाभदायक होगा कि हमारे साधारण अनुभव में हम स्थूल परिमाण की वस्तुओ का ही प्रेक्षण करते है, न कि द्रव्य विन्दुओ का। विशेषत आकाश और काल का नापने की जिस क्रिया के द्वारा घटनाओ की प्रगति के अध्ययन में परिशुद्धि आती है उसके अधिकाश भाग में ठोस वस्तुओ का ही उपयोग किया जाता है। अत स्थूल मापदडीय वस्तुओ और विशेषत ठोस वस्तुओ के प्रेक्षणो के द्वारा हम जो धारणाएँ वनाते है उन्ही की सहायता से हम द्रव्य विन्दुओ की गति के नियमो का भी निर्णय करते है। और एक वार इन नियमो के स्वीकृत हो जाने पर ठोस वस्तुओ को द्रव्य विन्दुओ द्वारा निर्मित मानकर हम उनके यान्त्रिक गुणो का पुन निगमन[5] कर सकते है। एसा करने में अवश्य ही कोई परस्पर विरोध नही है

1 Parameters　2 Orientation　3 Restraining　4 Discontinuous
5 Deduction

तथापि यह मान लेना बड़ी साहसिक परिकल्पना है कि ठोस वस्तुओं के प्रेक्षण से प्राप्त और परिशोधित आकाश-कालीय धारणाएँ अपरिवर्तित रूप में मूल-कणिकाओं और द्रव्य बिन्दुओं पर भी लागू होंगी। यह भली भाँति स्वीकार किया जा सकता है कि मूल कणिकाओं पर लागू करने के लिए उन धारणाओं में अत्यन्त गहन परिवर्तन की आवश्यकता हो सकती है। केवल यही एक बात अनिवार्य है कि ये धारणाएँ ऐसी ही रहें कि मूल कणिकाओं के गुणों को मान लेने पर उनके द्वारा ही और कणिकाओं के निकाय में भौतिक वस्तुओं के—विशेषत ठोस वस्तुओं के—समस्त ज्ञात गुण तथा आकाश और काल की साधारण परिभाषाएँ पुन प्राप्त हो सकें। इस दृष्टिकोण के महत्त्व पर जीन लुई डिस्टूशे[1] ने हाल में ही बहुत जोर दिया है किन्तु सम्भवत यह चिरप्रतिष्ठित शुद्ध यान्त्रिकी द्वारा प्रतिपादित विधि के विरुद्ध कोई वास्तविक आपत्ति उपस्थित नहीं करता क्योंकि उसमें द्रव्य बिन्दु को मूल-कणिका न मानकर उसकी यह परिभाषा दी जा सकती है कि वह द्रव्य का उपेक्षणीय आकारवाला छोटा-सा टुकड़ा तो होता है, किन्तु उसमें मूल कणिकाओं की प्रचुर संख्या विद्यमान रहती है। किन्तु पारमाणविक भौतिक विज्ञान में जब हम मूल-कणिकाओं के अस्तित्व को मानकर उन कणिकाओं पर उस द्रव्य बिन्दुओं की चिर-प्रतिष्ठित यान्त्रिकी के नियम अथवा आकाश तथा काल की साधारण धारणाओं पर अवलम्बित किसी अन्य प्रकार के नियम लागू करने लगते हैं तब इस आपत्ति की प्रबलता ज्यों की-त्यों बनी रहती है। इस प्रश्न की अधिक विस्तृत विवेचना करने का अवसर हमें फिर मिलेगा। इसलिए यहाँ अधिक न कहकर हम भौतिक निकायों के गति विज्ञान विषयक इन वक्तव्यों को यहीं समाप्त कर देते हैं।

## ४ वैश्लेषिक यान्त्रिकी और याकोबी[2] का सिद्धान्त

वैश्लेषिक यान्त्रिकी जिसके साथ लाग्रांज[3] जैसे महान् व्यक्ति का नाम जुटा हुआ है मुख्यत उन विधियों का समुच्चय है जिनकी सहायता से किसी भौतिक निकाय के समीकरण शीघ्रता से लिखे जा सकते हैं यदि हमें उस निकाय के स्थान को निर्णीत करनेवाले चरों[4] के विचरण[5] का ज्ञान हो।

यहाँ हमें यह किसी तरह भी अभीष्ट नहीं है कि हम वैश्लेषिक यान्त्रिकी की विधियों की विस्तृत विवेचना करें। अत हम अपने वक्तव्य को केवल यह कहकर

1 Jean Louis Destouches 2 Jacobi 3 Lagrange 4 Variables 5 Variation

ही समाप्त कर देंगे कि ये विधिया अन्तत दो सुविख्यात समीकरण-सघो का रूप ले लेती है—लाग्राज के समीकरण तथा हैमिल्टन[1] के समीकरण। लाग्राज और हैमिल्टन की विधिया की विपरीतता इस बात में है कि लाग्राज की विधि में तो निकाय की ऊर्जा व्यापकीकृत वेगो[2] के द्वारा अर्थात स्थान-सम्बन्धी प्राचलो के काल सापेक्ष अवकलना के द्वारा निर्दिष्ट की जाती है, किन्तु हैमिल्टन की विधि में वही ऊर्जा व्यापकीकृत सवगो[3] अथवा लाग्राजीय सवेगो के फलन के रूप में प्रस्तुत की जाती है। परन्तु सनातन धारणाओ के ढाचे मे हम सदैव व्यापकीकृत वेगो से अत्यन्त सरलतापूर्वक लाग्राजीय सवेगो को प्राप्त कर सकते है और व्युत्क्रमत लाग्राजीय सवेगो से व्यापकीकृत वेगो को भी प्राप्त कर सकते ह। क्योकि उसमें सवेगो की परिभाषा सदैव वेगो के द्वारा ही दी जाती है। अत जहा कही लाग्राज के समीकरण और हैमिल्टन के समीकरण दोनो ही सफलतापूर्वक लिखे जा सकते हो वहा उनमें केवल बाह्य रूप मात्र का अतर रहता है और अन्तिम विश्लेषण में वे अभिन्न ही होते ह। किन्तु हम देखेंगे कि क्वाटम-यात्रिकी में तो समुचित पक्षान्तरण[4] कर देने पर हैमिल्टन के समीकरणो की सार्थकता बनी रहती है, किन्तु लाग्राज के समीकरणो के लिए इस बात की कल्पना भी नही की जा सकती। यदि हम यह ध्यान में रखें कि क्वाटम सिद्धान्त में गतिकीय धारणाओ की सार्थकता तो विद्यमान रहती है, किन्तु गतिमितीय धारणाएँ अर्थहीन हो जाती है तो यह बात सरलता से समझ में आ जायगी। सनातन विचारानुसार जो सवेग वेग की व्युत्पन्न राशि के समान जान पडता ह वही क्वाटम-यान्त्रिकी मे मौलिक तथा स्वतन्त्र राशि का रूप ले लेता है जिसका वेग की धारणा से कोई सम्बन्ध नही होता क्योकि यहा वेग की धारणा का अर्थ सब अवस्थाओ में सुनिर्णीत नही रहता।

जिस दृष्टिकोण से हम विचार कर रहे है उसके अनुसार याकोबी का सिद्धान्त वैश्लेषिक यान्त्रिकी का एक अत्यन्त रोचक और महत्त्वपूर्ण परिच्छेद ह। वस्तुत यह सिद्धान्त किसी विशिष्ट बल क्षेत्र मे द्रव्य बिन्दु की सभाव्य गतियो का ऐसा वर्गीकरण कर देता है कि जिससे पुरातन यात्रिकी का क्वाटम-यात्रिकी में सक्रमण सुकर हो जाता है। यहा हम याकोबी के सिद्धान्त का विस्तृत विवरण नही दे सकते क्योकि इसके लिए अत्यन्त जटिल गणितीय प्रक्रियाओ की आवश्यकता पडेगी। अत हम इस प्रसग को केवल इस सिद्धान्त के मार्गन तक ही सीमित रखेंगे और केवल

1 Hamilton 2 Generalised velocities 3 Generalised momenta
4 Transposition

उस विशेष, किन्तु महत्त्वपूर्ण अवस्था में उसके उपयोग का ही वर्णन करेंगे जिसमें बल क्षेत्र स्थायी हो अर्थात् काल से स्वतन्त्र हो। बल क्षेत्र में किसी द्रव्य विन्दु के समस्त सम्भव गमन पथों का समुदाय ६ प्राचलों पर अवलम्बित होता है क्योंकि प्रत्येक गमन पथ द्रव्य विन्दु के प्रारम्भिक स्थान और प्रारम्भिक वेग पर अवलम्बित होता है। किन्तु इन गमन-पथों का ऐसे कुलों[1] में विभाजित करना भी सम्भव है जो केवल ३ प्राचलों पर ही अवलम्बित हों तथा प्रत्येक कुल के गमन पथ इस प्रकार के वक्र हों जो किसी विशेष पृष्ठ-कुल को अभिलम्बतः[2] काटते हों। तब यदि ऐसा पृष्ठ-कुल निर्णीत करने में सफलता मिल जाय तो उसकी अपेक्षा समस्त लम्ब कोणिक[3] वक्र उस द्रव्य विन्दु के सम्भव गमन-पथ होंगे। याकोबी का सिद्धान्त हमें ठीक यही बात सिखाता है कि किस प्रकार किसी प्रथम श्रेणी और द्वितीय घात के आंशिक अवकल-समीकरण से जिसे याकोबी समीकरण कहते हैं प्रारम्भ करके हम वैसे पृष्ठ-कुलों को निर्णीत कर सकते हैं। ऊर्जा के हैमिल्टनीय व्यंजक से प्रारम्भ करके ही यह समीकरण प्राप्त किया जाता है। इस व्यंजक में प्रत्येक क्षण पर द्रव्य-विन्दु की ऊर्जा उसके सवेग के संघटकों के तथा निर्देशांकों के तात्क्षणिक मानों के फलन के रूप में व्यक्त की जाती है।

इस प्रकार हम देखते हैं कि याकोबी के सिद्धान्त की कृपा से द्रव्य विन्दु के गमन-पथों की षड्गुण अनन्ती[4] का हम ऐसे कुलों में वर्गीकरण कर सकते हैं कि प्रत्येक कुल में गमन पथों की त्रिगुण अनन्ती विद्यमान रहती है और प्रत्येक कुल का आनुषंगिक एक एक लम्ब कोणीय पृष्ठ-कुल होता है। गमन पथों का प्रत्येक कुल और उसके आनुषंगिक लम्ब-कोणीय पृष्ठ-कुल का सम्बन्ध ठीक उसी प्रकार का होता है जिस प्रकार का सम्बन्ध तरंग प्रचरण के तरंगाग्रों और किरणों[6] में ज्यामितीय प्रकाश-विज्ञान की विधि से चित्रित किया जाता है। स्काटलैंड निवासी ज्यामितिज्ञ हैमिल्टन का ध्यान एक शताब्दी से अधिक हुआ तब ही इस सादृश्य की ओर गया था और उसकी सहायता से ही उन्होंने वश्लेषिक यान्त्रिकी के इस पक्ष के स्पष्टीकरण की अत्यन्त पथ प्रदर्शक विधि मालूम की थी। किन्तु क्वाटम सिद्धान्त के आधुनिक विकास के द्वारा ही हम इस सादृश्य में सरल गणितीय समानता के अतिरिक्त कुछ और भी देख पाये हैं।

1 Families 2 Normally 3 Orthogonal 4 Sextuple Infinity 5 Wave fronts 6 Rays

द्रव्य विन्दु की इन सनातन धारणा के सम्बन्ध में यह बता देना भी रुचिकर होगा कि याकाबी के सिद्धान्त द्वारा प्राप्त तरग प्रचरण के प्रतिरूप का अर्थ केवल अमूर्त रूप मे ही हो सकता है। वस्तुत सनातन विचारधारा में प्रत्येक क्षण पर द्रव्य विन्दु के स्थान और वेग सुनिर्णीत होते हैं और बल-क्षेत्र में वह किसी ऐसे अद्वितीय गमन-पथ पर चलता है जिसका स्वरूप प्रारम्भिक स्थिति के प्रतिबन्धो पर अवलम्बित होता है। याकाबी के सिद्धान्त द्वारा वर्गीकृत गमन पथ-कुल में जो गमन-पथ होते हैं वे केवल सभाव्य होते ह और प्रत्येक दशा में उनमें से केवल एक ही वास्तविक होता है। इसलिए उन गमन पथ-कुलो की सार्थकता बहुत कुछ सारहीन होती ह क्योकि वे जिन अनेक सभाव्यताओ को प्रकट करते ह उनमें से अधिक से अधिक केवल एक ही वास्तविक होती है। फिर भी याकोबी के सिद्धान्त द्वारा निर्दिष्ट गमन पथ-कुल को सारयुक्त अर्थ देने का भी एक उपाय हो सकता है। मान लीजिए कि हमारे पास अनन्त-सख्यक बिलकुल एक-से द्रव्य विन्दु है जो एक-दूसरे पर कुछ भी प्रभाव नही डालते। तब यह मान लेने की सभावना उपस्थित हो जायगी कि वे द्रव्य विन्दु उन विविध कुलो के समस्त गमन-पथो पर सचमुच चल सकते हैं और तब ये गमन पथ वास्तविक मालूम पड़ेंगे। इस प्रकार यह स्पष्ट हो जाता है कि याकाबी का सिद्धान्त एक प्रकार से साख्यिकीय सिद्धान्त[1] है क्योकि इसमें अनेक गमन पथ समुदायो की यौगपदिक कल्पना की जाती है। इससे हम इस बात का कुछ आभास मिलता है कि इस सिद्धान्त मे तरग-यान्त्रिकी की प्रायिकतामूलक[2] तथा साख्यिकीय व्याख्याएँ बीजरूप में विद्यमान हैं। आगे चलकर हम देखेंगे कि बात है भी बहुत कुछ एसी ही।

ऊपर की पक्तियो में हमने ज्ञात बल-क्षेत्र में किसी एक द्रव्य विन्दु की गति के सम्बन्ध में याकाबी के सिद्धान्त की रूपरेखा प्रस्तुत की है। यदि यह अभीष्ट हो कि इसी विचारधारा को बढाकर परस्पर प्रभावक द्रव्य विन्दुओ के निकाय पर भी लागू किया जाय तो एक ऐसी विशेष परिकल्पना को इस सिद्धान्त में निविष्ट करना पड़ेगा जो आगे चलकर निकायो की तरग-यान्त्रिकी में भी उपयोगी प्रमाणित होगी। यदि निकाय में द्रव्य विन्दुओ की सख्या n हो तो हमें एक ऐसे अमूर्त[3] आकाश की कल्पना करनी पड़ेगी जो निकाय के n विन्दुओ के 3n निर्देशाको के द्वारा निर्मित माना जाता ह और जो विन्यासाकाश[4] कहलाता ह और तब यदि ऊर्जा के हॅमिल्टनीय व्यजक से प्रारम्भ करके उस निकाय के लिए याकोबी का समीकरण बनाया जाय

1 Statistical Theory 2 Probabilistic 3 Abstract 4 Space of Configuration

तो हमें प्रथम श्रेणी और द्वितीय घात के आंशिक अवकलना का ऐसा समीकरण प्राप्त होगा जिसमें उस निकाय के समस्त विन्दुओं के 3n निर्देशांक समाविष्ट होंगे। फलत इस समीकरण के द्वारा उपयुक्त विन्यासावकाश में ही पृष्ठ-कुल भी निर्दिष्ट करने पड़ेंगे—साधारण त्रिविमितीय आकाश में नहीं। अत निकाय की उत्तरोत्तरवर्ती अवस्थाओं का अनुक्रम[1] इस विन्यासावकाश में एक वक्र द्वारा निरूपित हो जायगा और यह वक्र उस निकाय के निरूपक विन्दु[2] का गमन-पथ होगा। निकाय के सांकेतिक[3] गमन-पथ 6n प्राचलों पर अवलम्बित होते हैं जो n विन्दुओं में से प्रत्येक से सम्बन्धित 6 प्रारम्भिक प्रतिबन्धों से प्राप्त होते हैं। याकोबी का सिद्धान्त हमें सभाव्य गमन पथों की इस 6n–गुणी अनन्ती को कुलों में वर्गित करने की क्षमता प्रदान कर देता है। इनमें से प्रत्येक कुल 3n प्राचलों पर अवलम्बित होगा और ऐसे वक्रों से संघटित होगा जो याकोबी के समीकरण के अनुकूल पृष्ठों[4] के कुल से लम्ब कोणीय होंगे। किन्तु इस बार तरंग के प्रतिरूप का प्रचरण 3n–विमितीय विन्यासावकाश में होगा। इससे यह प्रकट हो जाता है कि निकायों के गतिविज्ञान की समस्याओं के अध्ययन में तरंग-यांत्रिकी को भी याकोबी के सिद्धान्त का सहारा लेकर इसी मार्ग का अनुसरण करना पड़ेगा और तरंग प्रचरण का विवेचन विन्यासावकाश में करना पड़ेगा। इससे तरंग-यांत्रिकी की तरंगों को न केवल उपयुक्त प्रायिकतामय तथा सांख्यिकीय अभिव्यक्ति प्राप्त हो जायगी किन्तु उनका स्वरूप चिरप्रतिष्ठित भौतिकी में चित्रित तरंगों के रूप से सर्वथा भिन्न और असार तथा सांकेतिक भी हो जायगा।

## ४ न्यूनतम क्रिया का नियम[5]

किसी विभव-जात बल-क्षेत्र में अवस्थित द्रव्य विन्दु के गतिकीय समीकरणों को उस सिद्धान्त से भी प्राप्त करना सभव है जो अपने व्यापक रूप में हैमिल्टन का सिद्धान्त या स्थिर क्रिया[6] का सिद्धान्त कहलाता है। इस सिद्धान्त के अनुसार द्रव्य विन्दु की गतिज और स्थितिज ऊर्जाओं के अन्तर का $t_1$ और $t$ सीमाओं के बीच में प्राप्त कालानुकल[7] वास्तविक गमन पथ के लिए उस अत्यल्पत भिन्न अन्य पथ की अपेक्षा लघुतर (या महत्तर) होता है जिसके द्वारा उस द्रव्य विन्दु के लिए उसी प्रारम्भिक स्थान से उसी अंतिम स्थान तक पहुँच सकना सम्भव समझा जा सकता है।

1 Sequence 2 Representative point 3 Symbolic 4 Integral surfaces 5 Principle of Least Action 6 Stationary action 7 Time integral

जब बल-क्षेत्र स्थायी[1] होता है तब इस स्थिर क्रिया के सिद्धान्त का रूप विशेषत सरल हो जाता है। वह तब मापरटचूइस[2] का न्यूनतम क्रिया का नियम बन जाता है जिसके अनुसार स्थायी बल-क्षेत्र में विन्दु क से विन्दु ख तक जाने के लिए द्रव्य विन्दु का वास्तविक पथ वह वक्र होता है जिस पर संवेग का परिचलन[3] अथवा रेखा-अनुकल[4] उन्ही क और ख विन्दुओं को जोडनेवाले किसी अन्य अनन्तत निकटवर्ती वक्र की अपेक्षा न्यूनतर होता है। मापरटचइस का सिद्धान्त हमिल्टन के सिद्धान्त से तो व्युत्पन्न हो ही सकता है किन्तु उसका सम्बन्ध याकोबी के सिद्धान्त से भी स्थापित किया जा सकता है। हम देख चुके है कि उस सिद्धान्त के अनुसार स्थायी बल-क्षेत्र में गमन-पथ किसी विशेष पृष्ठ-कुल से लम्बकोणीय वक्र समझे जा सकते है। इससे सरल वितर्क द्वारा यह परिणाम निकाला जा सकता है कि ये गमन-पथ किसी विशेष अनुकल को न्यूनतम बनाने के प्रतिबन्ध द्वारा निर्णीत हो सकते हैं और यह अनुकल मापरटचूइस की क्रिया अर्थात संवेग का रेखा-अनुकल प्रमाणित होता है। न्यूनतम क्रिया के नियम को इस प्रकार सिद्ध करना बडा रोचक है क्योंकि इसके द्वारा इस नियम का और फरमा[5] के न्यूनतम समय के नियम[6] का सम्बन्ध प्रकट हो जाता है। वस्तुत हम देख चुके हैं कि याकोबी के सिद्धान्त द्वारा ये गमन पथ ठीक उसी प्रकार के समझे जा सकते हैं जिस प्रकार ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान में तरग प्रचरण के प्रसग में किरणें समझी जाती है। इस दृष्टि से विचार करने पर न्यूनतम क्रिया के नियम को सिद्ध करनेवाली युक्ति ठीक वही जान पडती है जिसके द्वारा ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान में न्यूनतम समय के नियम अर्थात फरमा के नियम को प्रमाणित किया जाता है। फरमा के नियम का वक्तव्य यह है—स्थायी अवस्थावाले किसी वर्तक माध्यम[7] में दो अचल विन्दु क तथा ख में से गुजरनेवाली किरण उस वक्र की सपाती[8] होती है जिस पर क से ख तक जाने में प्रकाश को न्यूनतम समय लगता है अर्थात् जो प्रकाश प्रचरण के वेग के व्युत्क्रम[9] के रेखा-अनुकल को न्यूनतम बना देता है। इस प्रकार मापरटचूइस के नियम और फरमा के नियम का सम्बन्ध प्रत्यक्ष हो जाता है। फिर भी इन दोनो नियमो में एक महत्त्वपूर्ण अन्तर बाकी रह जाता है। न्यूनतम क्रिया नियम के स्थिर अनुकल में संवेग इस प्रकार निविष्ट होता है कि उस अनुकल की भौतिक विमितियाँ[10] ठीक वही

1 Permanent 2 Maupertuis 3 Circulation of momentum 4 Line integral 5 Fermat 6 Principal of least time 7 Refracting medium 8 Coincident 9 Reciprocal 10 Dimensions

होती है जो क्रिया की होती है (अर्थात ऊर्जा समय अथवा संवेग द्रव्य)। विपरीत इसके फरमा के नियम के अनुसार में प्रचरण के वेग का व्युत्क्रम निर्दिष्ट होता है। यही कारण था कि दीर्घ काल तक इन दोनों नियमों के गणितीय या केवल आभासी सादृश्य के अतिरिक्त और किसी प्रकार का ऐसा सादृश्य समझना सम्भव नहीं था कि जिसका कोई गहरा भौतिक आधार हो। भौतिक दृष्टिकोण से तो इन दोनों नियमों में स्पष्ट विपरीतता प्रकट होती थी क्योंकि संवेग तो वेग का अनुपाती होता है और इस कारण मापरटचूइस के अनुकूल में वेग अंश-स्थान[1] में निविष्ट होता है किन्तु फरमा के अनुकूल में वह हर-स्थान[2] में निविष्ट होता है। इस बात ने उस समय बड़ा महत्त्वपूर्ण काम किया था जब फ्रैनेल[3] की प्रतिभा के कारण प्रकाश के तरंग सिद्धान्त ने अपने प्रतिपक्षी कणिका सिद्धान्त पर विजय प्राप्त की थी। मापरटचूइस तथा फरमा के अनुकूलों में वेग की इन्हीं विभिन्न भूमिकाओं पर भरोसा करके यह परिणाम निकालना सम्भव समझा गया था कि शून्याकाश की अपेक्षा जल में प्रकाश वेग को कम प्रमाणित करनेवाले फूको[4] और फीजो[5] के विख्यात प्रयोग में तरंग सिद्धान्त का समर्थन करनेवाला अकाट्य और निर्णायक तर्क निहित है। किन्तु न केवल यान्त्रिकी और ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के इन दोनों नियमों की विपरीतता प्रदर्शित करने के लिए, बल्कि फूको और फीजो के प्रयोग का ठीक अर्थ समझने के लिए भी यह मान लिया गया था कि मापरटचूइस के अनुकूल में प्रयुक्त द्रव्य बिन्दु का वेग और फरमा के अनुकूल में भिन्न प्रकार से प्रयुक्त तरंग-वेग का एक ही प्रकार का समझना तर्क-संगत है। इन दोनों महान नियमों के गहन सम्बन्ध और उस सम्बन्ध के भौतिक अर्थ का सत्य रूप केवल तब ही प्रकट हुआ था जब तरंग-यान्त्रिकी ने यह सिद्ध कर दिया कि किसी भी द्रव्य बिन्दु की गति के साथ-साथ एक तरंग प्रचरण भी अवश्य विद्यमान रहता है जिसका प्रचरण वेग उस द्रव्य बिन्दु के वेग का उत्क्रमानुपाती होता है। उसने यह भी प्रमाणित कर दिया कि फीजो का प्रयोग इतना उत्कृष्ट निर्णायक नहीं था जितना कि पहले समझा गया था। यह प्रयोग इस बात को तो अच्छी तरह प्रमाणित कर देता है कि प्रकाश के प्रचरण को तरंगों के प्रचरण के द्वारा निरूपित करना चाहिए और वर्तनांक[6] की परिभाषा भी प्रचरण-वेग के द्वारा ही देनी चाहिए। किन्तु यदि प्रकाश की कणिकाओं का और तरंगों का समुचित

1 Numerator 2 Denominator 3 Fresnel 4 Foucault 5 Fizeau
6 Index of refraction

अनुपग स्थापित हा सके तो इस प्रयोग से प्रकाश के कणिकामय रूप के अस्तित्व पूर्णत निराकरण नही होता। किन्तु ये प्रश्न तो ऐसे हैं जिनका विवेचन हम अ चलकर करेंगे।

हमने मापरटघइस और फरमा के नियमा का सादश्य मुख्यत स्थायी बल-क्षे में द्रव्य-विन्दु की गति के साथ स्थायी अवस्थावाले वतक माध्यम में तरग प्रचर की तुलना के द्वारा स्थापित किया है। यदि हम समय के साथ परिवर्तित होनेवा वल-क्षेत्र में द्रव्य विन्दु की गति की तुलना उत्तरोत्तर परिवर्ती अवस्थावाले वत माध्यम में तरग के प्रचरण से करें तो हम न्यूनतम क्रिया नियम के हैमिल्टन प्रद व्यापक रूप का और अस्थायी वतक माध्यमा के लिए उपयुक्त व्यापकीकृत फ़र के नियम का सादश्य स्थापित करने में भी सफल हा सकेंगे। इस व्यापकीकर के सम्बन्ध में हम और अधिक नही कहेंगे। इतना ही कह देना पर्याप्त होगा यान्त्रिकी और ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान का मौलिक सादृश्य स्थायी अवस्थाआवाल अत्यन्त महत्त्वपूर्ण, किन्तु विशिष्ट दशा की सीमा से बाहर भी तथ्यपूर्ण है।

द्रव्य विन्दुआ के निकायों के लिए भी स्थिर क्रिया का सिद्धान्त स्वभावत उपयोगी है। किन्तु यहाँ इस सिद्धान्त मे शाब्दिक यथार्थता लाने के लिए उ निकाय से सगत पूर्व निर्दिष्ट विन्यासाकाश पर विचार करना लाभदायक होगा उदाहरण के लिए हम अपना विवेचन केवल उसी दशा तक सीमित रखेंगे जिसमें उ निकाय की स्थितिज ऊर्जा स्पष्टत समय पर अवलम्बित नही हाती। अर्थात् व ऐसी अनन्यासक्त निकाय हो जिस पर कोई वाह्य प्रभाव न पड रहा हो क्योंकि तब स्थितिज ऊर्जा केवल पारस्परिक प्रभावा पर ही अवलम्बित रहेगी और समय प स्पष्टत अवलम्बित नहीं होगी। इस दशा में भी न्यूनतम क्रिया का नियम मापरटघूइस के रूप में उपलब्ध है। उसका प्रतिपादन हम 3n–विमितीय विन्यासाकाश की सहायता से करेंगे और उस आकाश में एसी दिष्ट राशि की कल्पना करेंगे जिसके 3n सघटक उस निकाय के n द्रव्य विन्दुआ के सवगा के सघटक हाेंगे। न्यूनतम क्रिया का नियम हमें बताता है कि निकाय का विन्दु जब

दा अचल विन्दुआ (क और ख) में से उसका

है कि उपर्युक्त दिष्ट राशि का उस पथ

क और ख विन्दुआ का जाडनेवाले और

किसी भी वक्र की अपेक्षा न्यूनतर हाता है

प्रारम्भ करके क्रिया

नियम से इसका सादृश्य इस बात की संभावना के द्वारा प्रकट होता है कि क्रियाकाश में स्थिर बिंदु के गमनपथ उसी क्रियाकाश में किसी विशेष तरंग प्रचरण की किरणों के रूप में समझे जा सकते हैं। यहाँ भी यही बात एक बार फिर प्रकट होती है कि निकायों के लिए चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी से तरंग-यांत्रिकी में संक्रमण अनिवार्यतः अमूर्त क्रियाकाश में ही हो सकेगा।

# दूसरा परिच्छेद

## चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान[1]

### १ यान्त्रिकी के विस्तारण[2]

पिछले परिच्छेद के थोड़े-से पृष्ठों में हमारा इरादा चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी का पूर्ण विवरण देने का नहीं था। इस परिच्छेद में चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान का सम्पूर्ण दिग्दर्शन कराना तो और भी कम सम्भव होगा। अधिक से अधिक हम उसकी प्रमुख शाखाओं के लक्षण बताने का और उनमें से प्रत्येक के बारे में कुछ थोड़ी-सी बातें कह देने का प्रयत्न कर सकते हैं।

चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की एक प्रमुख शाखा तो यान्त्रिकी के विविध प्रत्यक्ष विस्तारणों के द्वारा निर्मित हुई है यथा, द्रव-गतिकी[3] तरल द्रव्यों[4] का अध्ययन, ध्वनि विज्ञान, प्रत्यास्थता[6] का सिद्धान्त। भौतिकज्ञों का ध्यान इन विज्ञानों की ओर बहुत पहले ही गया था क्योंकि जिन घटनाओं का इनमें अध्ययन किया जाता है वे नित्य के जीवन में हमारा ध्यान बरबस आकृष्ट करती रहती हैं। सैद्धान्तिक दृष्टिकोण से वे यान्त्रिकी के ही अव्यवहित विस्तारण दिखाई देते हैं। उनके मूल सिद्धान्त और तर्क प्रणाली यान्त्रिकी से ही प्राप्त हुए हैं। और उनमें कुछ अनुभव द्वारा सुझायी हुई परिकल्पनाएँ जोड़ दी गयी हैं। इनमें यह धारणा स्पष्टतः निविष्ट नहीं है कि द्रव ठोस या गैसीय वस्तुओं का संघटन पारमाणविक होता है। विपरीत उसके उनमें द्रव्य सतत[8] माना जाता है और उसी सातत्यक[9] में आयतन के अल्पांशों[10] को पृथक् मानकर उन पर प्रतिवेशी अल्पांशों की पारस्परिक क्रिया का परिगणन यान्त्रिकी के नियमों के द्वारा किया जाता है। किन्तु द्रव्य के पारमाणविक

1 Classical Physics 2 Extensions of Mechanics 3 Hydrodynamics 4 Fluids 5 Acoustics 6 Elasticity 7 Immediate 8 Continuous 9 Continuum 10 Elements

सघटन की परिकल्पना के साथ इन प्रक्रियाओ का समाधान करने मे कोई भी बाधा नही है, यदि हम यह समझ ले कि आयतन के जिन अल्पाशो पर हमारा ध्यान केन्द्रित होता है वे अत्यन्त छोटे होने पर भी इतने बडे अवश्य है कि उनमे अणुओ की बहुत बडी सख्या विद्यमान रहती है और उनमे सतत द्रव्य के गुण विद्यमान समझे जा सकते है।

यद्यपि ये विज्ञान-यान्त्रिकी के विस्तार—उन सिद्धान्तो पर आधारित है जिनका यान्त्रिकी के नियमो मे से अत्यन्त सरलतापूर्वक उदगम हुआ है तथापि वास्तव मे ये विज्ञान कठिन है और उनके लिए प्रयोगकर्त्ताओ और सद्धान्तिको मे बडी योग्यता और प्रचुर अध्यवसाय की आवश्यकता होती है। इन विषयो के भौतिक व्याम जटिल होते है और बहुधा उनका अध्ययन कठिन होता है। उनके परिकलन मे उच्चतर गणित की सहायता आवश्यक होती है। इसलिए यद्यपि ये विज्ञान बहुत पुराने है तथापि इनमे अभी बहुत अधिक उन्नति होना बाकी है। इजीनियरी के काम में इनके उपयोगो के कारण ये विज्ञान अत्यन्त आवश्यक है। किन्तु उन व्यावहारिक व्यक्तियो की सुविधा के लिए जिन्हे व्यापक सिद्धान्तो की अपेक्षा तात्कालिक परिणामो से अधिक प्रयोजन रहता है इन विज्ञानो का सन्निकटित रूप लेना पडा है। यथा द्रव इजीनियरी[1] या द्रव्यो के प्रतिरोध[2] मे।

इन विज्ञानो पर और अधिक विचार हम नही करेगे। आधुनिक भौतिक विज्ञान के रूपान्तरो ने इनमें बहुत ही थोडा परिवर्तन किया है और अभी तक इनमें क्वाटमो का कार्य उल्लेखनीय नही रहा है। अत ये हमारे अध्ययन के मुख्य भाग की सीमा से बाहर है।

## २ प्रकाश-विज्ञान[3]

यद्यपि द्रव-गति विज्ञान[4] मे और प्रत्यास्थता के सिद्धान्त में उन लोगो की कोई प्रत्यक्ष रुचि नही होती जो क्वाटमो का अध्ययन करना चाहते है तथापि प्रकाश विज्ञान के सम्बन्ध मे बात बिल्कुल उल्टी है। इस विज्ञान की प्रगति मे और भौतिक विज्ञान की आधुनिक उन्नति मे गहरा सम्बन्ध रहा है। द्रव और ठोस वस्तुओ की गति के समान ही प्रकाश-सम्बन्धी घटनाओ ने सदैव मनुष्यो का ध्यान बरबस आकृष्ट किया है। किन्तु १७वी शताब्दी में ही जाकर प्रकाश विज्ञान ने यथार्थ विज्ञान का

1 Hydraulics 2 Resistance of materials 3 Optics 4 Hydrodynamics

रूप दिया था। उसी समय देकार्ते[1] के नियम प्रतिपादित हुए थे जिनके द्वारा परावर्तन और वर्तन[2] की घटनाएँ यथार्थतापूर्वक नियन्त्रित होती है और उसी समय उपयुक्त फरमा का नियम भी प्रतिपादित हुआ था जिसमें समस्त ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान निहित है। प्रकाश विज्ञान के इतिहास के उस युग में किरणा की धारणा ने ही मौलिक काम किया था। उस समय शून्याकाश में अथवा समांगी[4] माध्यमों में किरणों के सरल रेखा-गमन का दर्पण-पृष्ठ पर अथवा वर्तक माध्यम में प्रवेश करने पर किरणों के मुडने का और असमांगी वर्तक माध्यम में किरणों की उत्तरोत्तर बढती हुई वक्रता का अध्ययन किया जाता था। इसी समय हाइगन्स[5] ने इन्ही घटनाओं की व्याख्या तरंगों और तरंगाग्रों की धारणाओं के द्वारा करने की दूसरी विधि का भी विकास किया था। इसके अतिरिक्त उन्होंने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि इस विधि के उपयोग से नवाविष्कृत द्वि-वर्तन[7] की घटना की व्याख्या भी हो सकती है। शुद्ध ज्यामितीय दृष्टिकोण से किरणों की धारणा का उपयोग करनेवाली विधि में तथा तरंगाग्रों की धारणा का उपयोग करनेवाली विधि में एक प्रकार की समानता है। ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के प्रमेय इस समानता को प्रकट करते है और बिना कठिनाई के हमें एक दृष्टिकोण से दूसरे दृष्टिकोण को प्राप्त करने में सहायता करते है। जैसा हम पिछले परिच्छेद में बता चुके है ये किरणें तरंगाग्र-कुल को अभिलम्बतः काटनेवाले वक्र है और फरमा का नियम इस बात का सीधा परिणाम है। किन्तु यदि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान की समस्याओं का विवेचन करने के विविध तरीकों में गणितीय तुल्यता विद्यमान हो तो प्रकाश के सम्बन्ध में दो सर्वथा विभिन्न धारणाएँ उत्पन्न होती है जो इस बात पर अवलम्बित होती है कि हम किरणों के कार्य को मौलिक समझते है अथवा तरंगाग्रों के कार्य को। यदि हम किरणों की धारणा को अनिवार्य समझें तब तो प्रकाश कणिका रूप में प्रकट होता है। और हमें यह मानना पडता है कि प्रकाश अत्यन्त छोटी और तीव्रगामी कणिकाओं से बना हुआ होता है और किरणें उन कणिकाओं के गमन पथ है। तब किरणों के सरल रेखात्मक रूप (सरल रेखात्मक गमन) और दर्पणों पर प्रकाश के परावर्तन की अत्यन्त स्वाभाविक और सहज व्याख्या हो जाती है और वर्तन भी समझ में आ जाता है। इस दृष्टिकोण में किरणों का तो कुछ भौतिक अर्थ है क्योंकि वे प्रकाश-कणिकाओं के गमन-पथ है किन्तु तरंगाग्र केवल ज्यामितीय कल्पना मात्र है जिसके द्वारा किरण

1 Descartes 2 Reflection 3 Refraction 4 Homogeneous 5 Huyghens 6 Wave fronts 7 Double refraction

समूह का किसी एक कुल के रूप में सघटित समझा जा सकता है, ठीक उसी प्रकार जिस प्रकार याकोबी-समीकरण के अनुकूल-पृष्ठो की धारणा के द्वारा गमन पथो के समुदाय को एक विशेष कुल के रूप मे सघटित समझा जाता है। किन्तु इसके विपरीत हम यह भी मान सकते है कि यथार्थ वास्तविकता तरग पृष्ठो मे है। तब हमें प्रकाश के स्वरूप की तरगमय धारणा प्राप्त होगी और हमे यह समझना पड़ेगा कि प्रकाश आकाश में प्रचरण करनेवाली वास्तविक तरगो से निर्मित है और किरणे केवल क्रमागत तरगाग्रो को अभिलम्बत काटनेवाले वास्तविकताहीन कल्पित वक्र मात्र है। हाइगन्स के प्रखर विश्लेषणो से यह अच्छी तरह प्रमाणित हो गया था कि प्रकाश के इस तरग सिद्धान्त के द्वारा भी परावर्तन और वर्तन की घटनाओ की व्याख्या हो जाती है। किन्तु पहले-पहल यह समझ में आना आसान नही है कि इसके द्वारा समागी माध्यमो में प्रकाश के सरल रेखात्मक गमन की व्याख्या कैसे हो सकती है। यह भौतिक घटना ऐसी है जिसकी व्याख्या कणिका सिद्धान्त मे अत्यन्त ही प्रत्यक्ष दिखाई देती है क्योंकि वहा यह अवस्थितित्व के नियम[1] का ही परिणाम है।

१७वी तथा १८वी शताब्दी के विद्वानो ने इन दोनो ही धारणाओ का—कणिकामय धारणा अथवा उत्सर्जन सिद्धान्त[2] का तथा तरग-धारणा का—अध्ययन किया था। न्यूटन[3], जो महान अधिकारी पुरुष थे तथा खगोल-यान्त्रिकी[4] के प्रतिभावान् स्रष्टा थे, तरग धारणा की कुछ कठिनाइयो से, विशेषकर सरल रेखागमन की व्याख्या सम्बन्धी कठिनाई से बहुत प्रभावित हो गये थे और उन्होने अपना मत स्पष्टत कणिका सिद्धान्त के पक्ष मे दे दिया था। न्यूटन के बाद अठारहवी शताब्दी के प्राय सभी वैज्ञानिक साधारणत प्रकाश के इस स्वरूप के पक्ष मे थे और जिस तरग धारणा का सत्रहवी शताब्दी के अन्त मे हाइगन्स ने इतना तेजस्विता से प्रतिपादन किया था उसके पक्ष में कुछ थोडे से इने गिने समर्थको (यथा आयलर) को छोडकर कोई भी नही था। उस समय तो ऐसा ही मालूम होता था कि प्रकाश के असतत (कणिकामय) सघटन के पक्षपातियो की विजय हो गयी है।

किन्तु १९वी शताब्दी के प्रारम्भ मे स्थिति बिल्कुल पलट गयी। व्यतिकरण[7] और विवर्तन[8] की घटनाओ का आविष्कार ही इस परिवर्तन का कारण था। इनमें से कुछ घटनाओ के विशेष अंशो का तो न्यूटन के समय में ही आविष्कार हो चुका

1 Principle of inertia 2 Theory of emission 3 Newton 4 Celestial mechanics 5 Corpuscular Theory 6 Euler 7 Interference 8 Diffraction

था—पहले हुक[1] और ग्रिमाल्डी[2] के द्वारा और बाद में स्वयं न्यूटन के द्वारा। वह सुंदर घटना जो आज तक भी न्यूटन के वलय[3] के नाम से विख्यात है व्यतिकरण की ही घटना है। अपनी स्वाभाविक सूक्ष्म दृष्टि से न्यूटन ने अत्यन्त स्पष्ट रूप से समझ लिया था कि इन घटनाओं की व्याख्या के लिए उनके द्वारा समर्थित कणिका सिद्धान्त में भी थोड़े बहुत आवर्तत्व[4] को निविष्ट करने की आवश्यकता पड़ेगी। अतः उन्होंने यह परिकल्पना बनायी कि प्रकाश-कणिकाओं का सुगम पारगमन और सुगम परावर्तन के दौरे[5] एकान्तरतः आते हैं। यह सिद्धान्त पहले-पहल तो बड़ा जटिल तथा विचित्र मालूम देता है किन्तु वास्तव में यह प्रकाश के कणिका तथा तरंग रूपों में सामंजस्य स्थापित करने का सबसे पहला प्रयत्न था और दो शताब्दी पहले ही वर्तमान सिद्धान्तों का उसने सूत्रपात कर दिया था। १८वीं शताब्दी में प्रकाश के कणिका-स्वरूप की धारणा का प्रभाव इतना प्रबल था कि उस समय व्यतिकरण की घटनाओं पर यथोचित ध्यान नहीं दिया गया। उस शताब्दी के अन्त में और परवर्ती शताब्दी के प्रारम्भ में ही जाकर अंग्रेज भौतिकज्ञ टामस यंग ने पुनः इन घटनाओं का गंभीर अध्ययन प्रारम्भ किया था। किन्तु इनकी पूर्ण और परिष्कृत व्याख्या देना फ्रांसीसी विद्वान आगस्टिन फ्रैनेल[6] की प्रतिभा का ही काम था। हाइगन्स की तरंग धारणा का पुनर्विवेचन करके विवर्तन और व्यतिकरण सम्बन्धी उस समय तक ज्ञात समस्त बातों की पूरी व्याख्या फ्रनेल ने तरंग सिद्धान्त के द्वारा प्रस्तुत कर दी। और इससे भी अधिक महत्त्वपूर्ण बात यह है कि वे यह प्रमाणित करने में भी सफल हो गये कि समांगी माध्यमों में सरल रेखा-गमन और प्रकाश के तरंगमय स्वरूप में विपरीतता नहीं है। तरंग सिद्धान्त के विरोधियों ने इस बात की कड़ी आलोचना की थी क्योंकि इस व्याख्या के द्वारा कुछ विरुद्धाभासी परिणामों की सम्भावना प्रकट होती है। किन्तु उन्होंने प्रयोग के द्वारा प्रमाणित कर दिया कि ये परिणाम वास्तव में सत्य हैं। इसके बाद से ही उनके विचारों की विजय निश्चित हो गयी और बियो तथा लाप्लास[8] जैसे वैज्ञानिकों का समर्थन बना रहने पर भी कणिका सिद्धान्त का पूर्णतः अपकर्ष होने लगा और प्रतिदिन उसके समर्थकों की संख्या घटने लगी।

किन्तु फ्रैनेल के कार्य का यही अन्त नहीं हो गया। ध्रुवण[9] की घटना की

1 Hooke 2 Grimaldi 3 Newton's rings 4 Periodicity 5 Fit
6 Augustin Fresnel 1788 1827 7 Biot 8 Laplace 9 Polarisation

व्याख्या करने के लिए उन्होंने प्रकाश कम्पना की अनुप्रस्थता[1] की परिकल्पना उपस्थित की जिसके द्वारा यह समझ में आ जाता है कि ध्रुवित प्रकाश[2] के गुण प्रचरण की दिशा से समकोणिक दिशाओं में सम दिक्[3] क्या नही होते। इन अनुप्रस्थ कम्पनों के गुणो के अध्ययन से फ्रनेल ने चालक वस्तु के पृष्ठ से होनेवाले परावर्तन की तीव्रता के सिद्धान्त का तथा विषम दिक् माध्यमों मे प्रकाश के उस प्रचरण के सिद्धान्त का विकास किया जो द्विवर्तन का कारण है और इसी सिद्धान्त से द्विवर्तन के नियम भी प्रकट हुए। इस पूरे विवेचन का सचमुच ही सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान में उत्कृष्ट स्थान प्राप्त है और आजकल भी भौतिक प्रकाश की समस्त पुस्तकों में बिना किसी महत्त्वपूर्ण परिवर्तन के यह ज्यो-का-त्यो पाया जाता है। इस घोर मानसिक परिश्रम से क्षीण होकर आगस्टिन फ्रैनेल बीमार पड गये और १८२७ मे केवल ३९ वर्ष की आयु में ही उनका देहान्त हो गया। किन्तु उन्होंने जो कार्य पूरा कर दिया वह प्रशसनीय है और भौतिक विज्ञान के विकास के इतिहास के सर्वोत्तम अध्यायो मे उसकी गणना होती रहेगी।

फ्रनेल की मृत्यु के बाद प्रकाश का तरगमय स्वरूप क्रमश अधिकाधिक वैज्ञानिकों द्वारा स्वीकृत होता गया और फूको तथा फीजो के प्रयोग ने तो जिसका उल्लेख हम पहले ही कर चुके है इस परिकल्पना के पक्ष में एक अकाट्य प्रमाण प्रस्तुत कर दिया। हम आगे चलकर देखेंगे कि इसके बहुत दीर्घ काल के बाद वर्तमान शताब्दी के प्रारम्भ में भौतिकज्ञो का ध्यान पुन प्रकाश के कणिकामय स्वरूप की ओर आकृष्ट तो हुआ, किन्तु इसमें फ्रनेल की तरग मूलक व्याख्या का त्याग करने का विचार भी करने का साहस किसी को नहीं हुआ। फलत यह आवश्यक हो गया कि इन कणिकामय और तरगमय स्वरूपो का किसी-न किसी प्रकार का समन्वयन करने का अथवा उन्हे समान स्थान[4] देने का प्रयत्न किया जाय। इस बात से यह स्पष्ट हो जाता है कि यदि फ्रैनेल उस समय की ज्ञात अथवा स्वय अपने द्वारा आविष्कृत प्रकाश [illegible] घटनाओ की व्याख्या तरगो के द्वारा करने मे सही थे तो अपर पक्षी [illegible] भी प्रकाश के असतत स्वरूप के अस्तित्व का अनुमान करने मे [illegible] प्रकाश किरणो के और यान्त्रिकीय द्रव्य बिन्दुओ के गमन [illegible] का अनुमान कराने मे न्यूटन अथवा बियो के [illegible] था। यह बात केवल आकस्मिक नहीं हो सकती [illegible]

1 Transversality 2 Polarised light [illegible] tropic 6 Double refraction 7 [illegible]

गति विज्ञान में सम्बद्ध हो और विशेषतया यह था कि फर्मा का नियम और न्यूनतम क्रिया का नियम एक ही नियम के रूप हों। इस आयरिश गणितज्ञ के महान् प्रबन्ध और सर्वोत्कृष्ट धाराओं का सिद्धान्त हमें ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के नियमों का यथार्थ अभिप्राय समझाता है वरन् यह प्रकाश का तरंग सिद्धान्त भी हमें चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के विस्तारण का उपाय सुझाता है और हमें यह सिखाता है कि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के ही समान चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी भी केवल सन्निकटन मात्र ही है जो बहुधा लागू हो सकता है किन्तु फिर भी जिसके उपयोग का क्षेत्र सीमित है।

इन प्रश्नों पर हमें आगे चलकर पुनः विचार करना पड़ेगा, किन्तु इसका उल्लेख आप करने के लिए शायद यह लाभकारी होगा कि इसी समय यह बता दिया जाय कि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान को तरंगीय प्रकाश विज्ञान किस प्रकार आत्मसात् कर लेता है अर्थात् प्रकाश के दृष्टिकोण से फर्मा के नियम का औचित्य किस प्रकार प्रमाणित हो जाता है। तरंग सिद्धान्त में तरंग प्रचरण को प्रकट करनेवाला समीकरण द्वितीय श्रेणी के आंशिक अवकलजों का समीकरण होता है। यही तरंग-समीकरण[1] के नाम से विख्यात है। इस समीकरण में एक विशेष राशि (कलावेग[2]) विद्यमान रहती है। अस्थायी यानी माध्यम में प्रकाश प्रचरण के व्यापकतम प्रसंग में यह आकाश और काल के निर्देशांकों का एक विशेष फलन होता है। स्थायी अवस्थावाले माध्यमों के महत्त्वपूर्ण प्रसंग में यह प्रचरण-वेग काल की अपेक्षा अचर होता है और प्रत्येक बिन्दु पर एक निश्चित वर्तनांक[3] निर्णीत करता है। तब इस प्रचरण-समीकरण के कई एक-वर्णीय[4] हल होते हैं जो उस माध्यम में विभिन्न आवृत्तियों[5] अथवा विभिन्न रंगों के प्रकाश का प्रचरण (प्रॉपैगेशन) प्रकट करते हैं। यह प्रमाणित किया जा सकता है कि यदि एक तरंग-दैर्घ्य[6] की कोटि[7] की दूरी में माध्यम के वर्तनांक में कोई बोधगम्य परिवर्तन नहीं होता हो तो तरंग की कला के परिवर्तन जिस आंशिक अवकलज समीकरण के द्वारा पर्याप्त सन्निकटनपूर्वक निरूपित हो जाते हैं वह प्रथम श्रेणी तथा द्वितीय घात का होता है। इस समीकरण को 'ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान का समीकरण' कहते हैं और इसका रूप ठीक याकोबी के समीकरण के समान ही होता है। इस ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के समीकरण के द्वारा हम प्रत्येक एकवर्णीय तरंग प्रचरण के तरंगाग्रों का अर्थात उन पृष्ठों के कुल को प्राप्त कर सकते हैं जिन पर कला का मान एक-सा रहता है। इसके बाद इस तरंगाग्र-कुल पर अभिलम्बित

1 Wave equation 2 Phase velocity 3 Index of refraction 4 Monochromatic 5 Frequencies 6 Wave length 7 Order

प्र प्राप्त किये जा सकते है और इस वक्र को हम उस प्रचरण की आलपकिय किरणें कह सकते है। इस प्रकार से नियम मालुस के प्रमेय द्वारा की जाती और ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के अन्य समस्त नियमों का निगमन हो जाता है। इस के दृष्टिकोण से जब कभी यथार्थ तरग-समावलन की जगह ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान का समीकरण सन्निकटत स्थापित किया जा सकता है तभी ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान सत्य या वैध समझा जा सकता है। जैसा हम देख चुके है इसके लिए आवश्यक शर्त यह है कि माध्यम में एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक जाने में बतलाने अधिक शीघ्रता से न बदले। किन्तु इसके अतिरिक्त यह भी आवश्यक है कि प्रकाश के मार्ग में, उसके स्वतत्र प्रचरण में विघ्न उपस्थित करनेवाला कोई ऐसा अवरोध[3] विद्यमान न हो जिससे व्यतिकरण और विवर्तन की घटनाएँ प्रकट हो जाय। इस प्रकार तरग-सिद्धान्त की दृष्टि से ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान ऐसा सन्निकटन प्रतीत होता है जो बहुधा सत्य तो होता है, किन्तु जिसकी सत्यता का क्षेत्र सीमित रहता है।

अब हम पुन तरग सिद्धान्त के भौतिक अर्थ पर विचार करेंगे। यह स्पष्ट है कि प्रकाश-तरगो का प्रचरण द्रव्य के द्वारा नही होता क्योकि शून्याकाश में भी प्रकाश बिना कठिनाई के गमन करता है। तब इन तरगो का वाहक क्या है और वह माध्यम कौन-सा है जिसके कम्पन प्रकाश-कम्पन समझे जा सकते है? तरग सिद्धान्त के समर्थको से यही प्रश्न पूछा गया था। इसका उत्तर देने के लिए उन्होने एक एक अतिसूक्ष्म माध्यम (प्राकाशिक ईथर[4]) की कल्पना की थी जो पूरे ब्रह्माण्ड में विस्तृत है जो समस्त शून्य स्थानो में भी भरा हुआ है और जो भौतिक वस्तुओ के अभ्यतर में भी व्याप्त है। इस रहस्यमय माध्यम में गुण ऐसे होने चाहिए कि शून्याकाश में प्रकाश प्रचरण की घटना की व्याख्या हो सके। और इस ईथर तथा द्रव्य की पारस्परिक क्रिया ऐसी होनी चाहिए कि बतक माध्यमो में प्रकाश प्रचरण की प्रक्रिया भी समझ में आ सके। फ्रेनेल के अनुयायी इस ईथर-समस्या के हल करने में जुट गये। उनका प्रयत्न यह था कि ईथर के यान्त्रिक गुण बिल्कुल ठीक ठीक निर्णीत हो जायँ और उसकी सरचना का रूप भी स्पष्ट हो जाय। इस अनुसधान के परिणाम वास्तव में विचित्र निकले। यदि ईथर को प्रत्यास्थ[5] माध्यम समझा जाय तो यह आवश्यक है कि वह इस्पात में भी अधिक दृढ हो क्योकि उसमें केवल अनुप्रस्थ कम्पनो का प्रचरण ही हो सकता

1 Malus 2 Construction 3 Obstacle 4 Luminiferous ether 5 Elastic

है, किन्तु फिर भी इस दृढ़तम माध्यम के द्वारा उसमें चलनेवाली वस्तुओं पर कोई घर्षण-बल नहीं लगता और ग्रहों की गति में भी यह कोई रुकावट नहीं पैदा करता। परस्पर विरुद्धाभासी लक्षणों से युक्त इस माध्यम का कोई पूर्णतः पूर्वापर विरोधहीन[1] सिद्धांत स्थापित नहीं किया जा सका और अनेक भौतिकज्ञों के मन में इस कल्पित पदार्थ के वास्तविक अस्तित्व में सन्देह उत्पन्न हो गया। आगे चलकर हम देखेंगे कि यह प्रश्न पहले विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त में और फिर आपेक्षिकता के सिद्धान्त में कैसे प्रस्फुटित हुआ है।

## ३ विद्युत् और विद्युत्-चुम्बकीय सिद्धान्त[2]

यान्त्रिकी और उसके विस्तारण (शब्द विज्ञान तथा प्रकाश विज्ञान) तो ऐसे विज्ञान हैं जिनका जन्म बहुत प्राचीन काल में हुआ था क्योंकि उनमें ऐसी घटनाओं का अध्ययन किया जाता है जिनके अस्तित्व का ज्ञान मनुष्य को सदा से ही है, किन्तु इसके विपरीत विद्युत विज्ञान का जन्म आधुनिक है। यह सच है कि कुछ थोड़ी-सी बातें जैसे घर्षण के द्वारा वस्तुओं का आवेषण[3] अथवा प्राकृतिक चुम्बकों के गुण बहुत प्राचीन काल से ज्ञात थे और यह हो नहीं सकता था कि तड़ित जैसी महान और भयंकर घटना की ओर मनुष्य का ध्यान न जाता। किन्तु १८वीं शताब्दी के अन्त से पहले इन विविध घटनाओं की इतनी समुचित आलोचना हो चुकी थी कि इसमें बहुत सन्देह है कि किसी के मन में यह बात पैदा हो सकती कि ये भी एक स्वतन्त्र विज्ञान का विषय हो सकती हैं और इनके द्वारा भौतिक विज्ञान की एक नवीन शाखा बन सकती है। यह आविष्करण तो वास्तव में १८वीं शताब्दी के अन्त में और १९वीं शताब्दी के प्रारम्भ में ही हुआ था। यहां यह जान लेना भी रोचक होगा कि यही समय व्यतिकरण के आविष्कार और तरंग सिद्धान्त के विकास का भी था। विज्ञान के इतिहास के इस आश्चर्यजनक काल का महत्त्व विद्युत और प्रकाश के आधुनिक विज्ञानों की उत्पत्ति के कारण स्थूल मापदंडीय भौतिक विज्ञान के लिए उतना ही है जितना पारमाणविक भौतिक विज्ञान के लिए पिछले पचास वर्षों का है।

यहां हमारी इच्छा विद्युत विज्ञान के विकास के इतिहास का विस्तृत विवरण देने की नहीं है और न हम यह विश्लेषण करना चाहते हैं कि वाल्टा[4], कूलम्ब[5],

1 Coherent 2 Electricity and Electromagnetic Theory 3 Electrification 4 Volta 5 Coulomb

ओरस्टेड[1] डेवी[2] बियो[3] लाप्लास[4] गाउस[5] अम्पीयर[6] फैरडे[7] और अन्य व्यक्तियों ने इस नवीन विज्ञान के निर्माण में बड़ा भाग लिया था। इसका अध्ययन निश्चय ही बहुत रोचक होगा किन्तु वह बड़ा लम्बा होगा और जिस विषय पर हम इस समय विचार कर रहे हैं उससे वह हम बहुत दूर ले जायगा। इसलिए हम यहाँ केवल इतना बतायेंगे कि १९वीं शताब्दी के मध्य तक विद्युत के नियम पर्याप्त रूप से ज्ञात हो चुके थे और यह सम्भव हो गया था कि उनको सम्बद्ध करके उन्हें एक समाही सिद्धान्त के रूप में संघटित करने का प्रयत्न किया जाय। यह विशाल कार्य जेम्स क्लार्क मैक्सवेल[8] के द्वारा अपने पूर्ववर्ती वैज्ञानिकों के कार्य के आधार में अपने व्यक्तिगत महान गुणों की सहायता से सम्पादित हुआ था और उन्हीं के द्वारा उस व्यापक विद्युत सम्बन्धीय सिद्धान्त का निर्माण हुआ था जिसके साथ उनका नाम सदा रहेगा। मैक्सवेल विद्युत के समस्त नियमों को कुछ ही समी-करण-समूह में संक्षेपित करने में सफल हुए थे और ये समीकरण अभी तक मैक्सवेल समीकरणों के नाम से ही प्रसिद्ध हैं। इन मैक्सवेल-समीकरणों में अनुगत दो दिष्ट राशीय समीकरण तथा दो अदिष्ट राशीय समीकरण सम्मिलित हैं। दोनों दिष्ट-राशीय समीकरण निर्देशांकों के संघटकों द्वारा निर्मित छः समीकरणों को निरूपित करते हैं। इन समीकरणों के एक पक्ष में तो बल-रेखाओं के तथा वैद्युत और चुम्बकीय प्रेरणा के संघटक निर्दिष्ट रहते हैं और दूसरे पक्ष में वैद्युत-आवेशों[10] और धाराओं[11] के घनत्व[12]। दिष्ट राशीय समीकरणों में से एक तो फैरडे द्वारा आविष्कृत प्रेरण के महान नियम को व्यक्त करता है। एक अदिष्ट राशीय समीकरण इस बात का द्योतक है कि किसी अकेले चुम्बकीय ध्रुव का पृथक्करण असम्भव है। और दूसरा अदिष्ट राशीय समीकरण वैद्युत बल के प्रवाह[13] सम्बन्धी गाउस के प्रमेय[14] का रूपान्तर है। किन्तु दूसरे दिष्टराशीय समीकरण के लिखने में ही इस विद्युत-चुम्बकीय सिद्धान्त को मैक्सवेल की असली व्यक्तिगत सहायता मिली है। इस द्वितीय समीकरण का उद्देश यह स्पष्ट करना है कि अम्पीयर द्वारा आविष्कृत नियमों के अनुसार विद्युत धारा का सम्बन्ध चुम्बकीय क्षेत्र से किस प्रकार का है। इन नियमों के अनुसार हम यह लिखना चाहते हैं कि चुम्बकीय क्षेत्र का कर्ल (मात्रकों पर अवलम्बित किसी अचर गुणांक के साथ) विद्युत धारा के घनत्व के बराबर होता है।

1 Oersted 2 Davy 3 Biot 4 Laplace 5 Gauss 6 Ampere 7 Faraday 8 John Clark Maxwell 9 Inductions 10 Electric Charges 11 Currents 12 densities 13 Flux 14 Gauss s theorem 15 Curl

किन्तु मैक्सवल ने देखा कि यदि इन समीकरणों में निविष्ट विद्युत् धारा को केवल विद्युत् का ही प्रवाह समझा जाय तो कुछ कठिनाइयाँ उपस्थित होती है। इनका निराकरण करने के लिए उनकी प्रशसनीय सूझ से यह कल्पना उत्पन्न हुई कि विद्युत धारा-व्यजक पदसहति[1] को पूर्ण बनाने के लिए चालन[2] और सवहन[3] जनित विद्युत विस्थापन को निरूपित करनेवाले पदो[4] में वैद्युत प्रेरण के तात्कालिक परिणमन[5] सम्बन्धी एक और पद जोड देना चाहिए। यह नया पद एक नवीन प्रकार की धारा को निरूपित करता है जिसे 'विस्थापन धारा'[6] कहते है और जिसका विद्युत के प्रवाह से कोई आवश्यक सम्बन्ध नही है। यह ठीक है कि ध्रुवणीय माध्यमो[7] में इस विस्थापन-धारा के एक अश को ध्रुवण द्वारा उत्पन्न विद्युत के स्वतत्र आवेशो[8] का प्रवाह समझा जा सकता है। किन्तु परिणमनशील वैद्युत बल-क्षेत्र की उपस्थिति मे विस्थापन धारा का दूसरा अश शून्याकाश मे भी सदा विद्यमान रहता है और यह अश विद्युत् के प्रवाह से सर्वथा स्वतत्र होता है। जिन कठिनाइयो का हमने ऊपर जिक्र किया था उन्हें दूर करने का श्रेय विस्थापन धारा की इस परिकल्पना को ही है। और इसी के द्वारा निमीलित[9] और उन्मीलित[10] धाराओ की कठिन समस्या का भी रहस्य खुल गया जिसको लेकर उस समय के सैद्धान्तिक व्यस्त रहते थे क्योकि विस्थापन धारा को सम्मिलित कर लेने पर निमीलित धाराओ के अतिरिक्त और किसी प्रकार की धाराओ का अस्तित्व ही नही रहता।

किन्तु वैद्युत घटनाओ के व्यापक समीकरण प्राप्त कर लेने के बाद वास्तव में मैक्सवल की प्रतिभापूर्ण सूझ तो यह थी कि उन्होने इन समीकरणो में प्रकाश को भी विद्युत-चुम्बकीय विक्षोभ[11] समझ लेने की सभावना देखी। इसके द्वारा उन्होने सम्पूर्ण प्रकाश विज्ञान को भी विद्युत चुम्बकत्व के ढाचे में ही बैठा दिया और विज्ञान की ऐसी दो शाखाओ का एकीकरण कर दिया जो बिलकुल ही विभिन्न जान पडती थी और इस प्रकार उन्होने हमारे सामने भौतिक विज्ञान के इतिहास के सुन्दरतम सश्लेषणो का एक उत्कृष्ट उदाहरण प्रस्तुत कर दिया।

मैक्सवेल ने इस सश्लेषण को कैसे प्राप्त किया यह बात समझने के लिए यह समझना आवश्यक है कि उन विद्युत-चुम्बकीय समीकरणो में एक नियताक विद्यमान है जो विद्युत चुम्बकीय पद्धति और स्थिर-वैद्युत-पद्धति के आवेशो अथवा बल-क्षेत्रो

1 Expression 2 Conduction 3 Convection 4 Terms 5 Variation 6 Displacement current 7 Polarisable media 8 free charges 9 Closed 10 Open 11 Disturbance

के मात्रका के अनुपात के बराबर होता है। उन मूल समीकरणो के सयोजन से यह सरलतापूर्वक सिद्ध हो जाता है कि शून्याकाश मे विद्युत चुम्बकीय क्षेत्रो का प्रचरण तरग-समीकरण के अनुसार होता है और इस प्रचरण का कला वेग[1] उक्त नियताक के बराबर होता है। इसलिए यदि हम मैक्सवेल के समान प्रकाश को विद्युत चुम्बकीय विक्षोभ समझना चाहे तो हमें यह भी मानना पड़ेगा कि शून्याकाश मे प्रकाश प्रचरण का वेग (जो साधारणत अक्षर c के द्वारा व्यक्त किया जाता है) मात्रका के इस अनुपात के बराबर ही होना चाहिए। मैक्सवेल के समय मे प्रकाश वेग के जो सांख्यिक मान मालूम थे उनके द्वारा उस समय भी यह कहा जा सकता था कि यह समता[2] ३ या ४ प्रतिशत तक तो यथार्थ ही थी। उसके बाद जितने भी नाप लिये गये है उनसे प्रकट होता है कि यह समता पूर्णत यथार्थ है। इस बात से मैक्सवेल द्वारा प्रस्तावित प्रकाश की विद्युत चुम्बकीय धारणा की सत्यता आश्चर्य-जनक रीति से प्रमाणित हो जाती है।

मैक्सवेल की धारणा के अनुसार शून्याकाश में प्रकाश की एकवर्ण समतल तरग दो दिष्ट राशिया के द्वारा सलक्षित होती है। ये दिष्ट राशिया वैद्युत और चुम्बकीय क्षेत्र है जो उस तरग की आवृत्ति से ही कम्पन करते है और प्रकाश-गमन की दिशा में ही प्रचरण करते है। ये राशिया बराबर परिमाण की होती है परस्पर समकोणिक तथा प्रचरण की दिशा से भी समकोणिक होती है। और समकलीय[3] भी होती है। इन वैद्युत कम्पनो के साथ ईथर के प्रत्यास्थ कम्पनो की तुलना करने मे फ्रेनेल के सिद्धान्त के सभी परिणाम प्राप्त हो सकते है। हम यो भी कह सकते है कि इसके लिए तर्क को दूसरी भाषा में रूपान्तरित कर देना ही पर्याप्त है। विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त में ईथर के सम्बन्ध में इससे अधिक और कुछ भी ठीक तरह नही कहा जा सकता। उसमे केवल यह मान लेना ही काफी है कि प्रत्येक बिन्दु पर शून्याकाश के गुण वैद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र की दो दिष्ट राशिया के द्वारा निर्णीत हो जाते है। तब यह सिद्धान्त वह निरपेक्ष रूप धारण कर लेता है जो आधुनिक भौतिक विज्ञान के अधिकतर सिद्धान्तो का लक्षण है। विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त की यह *निरपेक्षता उस रूप में और भी अधिक प्रत्यक्ष हो जाती है जो मैक्सवेल के पश्चात* हर्टज[4] के द्वारा इस सिद्धान्त को दिया गया था। फिर भी उस समय के अनेक भौतिकज्ञो को इस विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र को सहारा देने के लिए यह मानने की

1 Phase velocity 2 Equality 3 In same phase 4 Hertz

आवश्यकता प्रतीत होती थी कि वह किसी द्रव्य विशेष की अवस्था है। इस बात का बड़ी कोशिश की गयी—विशेषकर लार्ड केल्विन[1] के द्वारा—कि ईथर के तनावों और विकृतियों[2] की सहायता से विद्युत चुम्बकीय घटनाओं का यान्त्रिकीय निरूपण सम्भव हो जाय। किन्तु ये निरूपण पूर्णतः सतोषजनक कभी नहीं हो पाये। अतः अंत में उन पर से विश्वास जाता रहा। तब से ईथर का काम केवल निर्देशन के लिए कल्पित माध्यम की तरह का ही रह गया है जिसके द्वारा ऐसे निर्देशाक-तंत्र निर्णीत हो सकते हैं जिनकी अपेक्षा मैक्सवेल के समीकरण अपने साधारण रूप में सत्य माने जा सकते हैं। उसका कार्य इतना सीमित हो जाने पर भी ईथर दुखदायी ही बना रहा। परम अचल[4] अक्षो को ईथर निर्णीत कर सकता है, इस धारणा के द्वारा जो गतिशील वस्तुओं का विद्युत-गति विज्ञान[5] बनाया गया था वह बड़ा जटिल था और अंत में प्रमाणित हो गया कि प्रयोगों के द्वारा उसका समर्थन भी नहीं होता। आपेक्षिकता के सिद्धान्त[6] ने ईथर की धारणा का पूर्णत्याग करने में अग्रणी होकर इस दुरवस्थिति को दूर कर दिया है।

हर्ट्ज[7] द्वारा विद्युत-चुम्बकीय तरंगों (हर्ट्जीय कम्पनों) के आविष्कार से मैक्सवेल की विचारधारा का सबसे अधिक सतोषजनक सत्यापन हुआ है। विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त ने वास्तव में यह प्रागुक्ति पहले ही कर दी थी कि यदि हम किसी वैद्युत परिपथ में काफी ऊँची आवर्त्ति[8] की विद्युत चुम्बकीय घटनाएँ उत्पन्न करने में सफल हो जायें तो चारों ओर के आकाश में एक विद्युत चुम्बकीय तरंग की उत्पत्ति सम्भव हो सकती है और मैक्सवेल की धारणा के अनुसार इस तरंग की सरचना बिल्कुल प्रकाश-तरंगों की सरचना के समान ही होनी चाहिए। किन्तु किसी व्यावहारिक वैद्युत परिपथ में से जो तरंगें उत्पन्न हो सकती हैं उनकी आवर्त्ति प्रकाश तरंगों की अपेक्षा बहुत ही कम होती है और तरंग-दैर्घ्य[9] बहुत ही लम्बा होता है। इस बात से स्वभावतः ही उन तरंगों के महत्त्वपूर्ण गुणों में भी अन्तर पड़ जाता है। हर्ट्जीय तरंगों का हमारी इंद्रियों पर कोई असर नहीं होता और उनका दैर्घ्य बड़ा बड़ा होने के कारण वे मुख्यतः विस्तृत अवरोधों के पीछे भी सुगमता से पहुँच जाती हैं। फिर भी, इन विभिन्नताओं के विद्यमान रहने पर भी प्रकाश-तरंगों में और हर्ट्जीय तरंगों में बड़ी गहरी समानता है। परावर्तन, वर्तन व्यतिकरण अथवा

1 Lord Kelvin 2 Tension 3 Deformations 4 Absolutely at rest 5 Electro-dynamics 6 Theory of Relativity 7 Hertz 8 Frequency 9 Wave length

विवरण के सभी प्रकार का प्रकाश-तरंगों के लिए पुराने प्रमाण थे हर्ट्ज़ीय तरंगों के द्वारा भी समर्थित हो गए है। किन्तु तरंग-दैर्घ्य अधिक होने के कारण स्वभावतः ही यह आवश्यक होगा कि प्रायोगिक व्यवस्था भी बहुत अधिक स्थूल परिमाण वाली बना दी जाय। हर्ट्ज़ीय तरंगों के तथा उनके गुणों के इस चिरस्मरणीय आविष्कार के कारण अब मैक्सवेल की प्रकाश-सम्बन्धी प्रधान धारणाओं की मौलिक सत्यता के विषय में कोई सन्देह बाकी नहीं रह गया है। यह कहने की तो शायद ही आवश्यकता हो कि हर्ट्ज़ीय तरंगों के आविष्कार से ही रेडियो तथा उसमे उत्पन्न अन्य कई प्रकार की दूर-संचारण[1] की प्रणालियों का जन्म हुआ है।

विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त के द्वारा हम भौतिक माध्यमों मे भी प्रकाश प्रचरण का अध्ययन कर सकते है। इससे हमें वह विख्यात समीकरण प्राप्त होता है जिसके द्वारा किसी समांगी माध्यम के पारवैद्युतांक[2] में और उसके वर्तनांक में पारस्परिक सम्बन्ध प्रकट होता है और इसीसे हम चालक माध्यमों में प्रकाश के क्षय[3] का भी विश्लेषण कर सकते है। किन्तु सबसे अधिक महत्त्व की बात यह है कि जब इस सिद्धान्त मे हम यह परिकल्पना जोड़ देते है कि द्रव्य के अन्तर्गत विद्युत की संरचना असतत होती है (इलेक्ट्रान-परिकल्पना) तब तो भौतिक माध्यमों में भी प्रकाश प्रचरण का परिपूर्ण विश्लेषण संभव हो जाता है। इस परिकल्पना पर अगले परिच्छेद में हम पुनः विचार करेंगे।

## ८ ऊष्मा-गतिकी[4]

चिरप्रतिष्ठित विज्ञान के इस छोटे-से विवेचन को हम उस विज्ञान ऊष्मा गतिकी के विषय में थोड़े-से शब्द कहे बिना समाप्त नहीं कर सकते जिसका समस्त निर्माण १९वीं शताब्दी के वैज्ञानिकों के द्वारा ही किया गया था। १८वीं शताब्दी में यह माना जाता था कि ऊष्मा एक तरल पदार्थ है जो अविनाशी है, अर्थात् विभिन्न भौतिक रूपान्तरणों से भी जिसका सम्पूर्ण मान में कुछ भी घट-बढ़ नहीं होती। बहुत से प्रसंगों में तो यह परिकल्पना पूर्णतः पर्याप्त होती है—विशेषतः पदार्थों में होनेवाले ऊष्मा प्रवाह के अध्ययन में। फूरियर[5] द्वारा प्रतिपादित ऊष्मा प्रवाह का सुन्दर सिद्धान्त उन समीकरणों से प्रारम्भ होता है जो इस ऊष्मा तरल (कलारिक)[6] की अविनाशिता के द्योतक है। किन्तु इस दृष्टिकोण से उन बहुत सी घटनाओं की

1 Tele communication 2 Dielectric constant 3 Extinction 4 Thermo dynamics 5 Fourier 6 Caloric

व्याख्या करना कठिन हो जाता है जिनमें ऊष्मा घर्षण के द्वारा उत्पन्न होती है। अत धीरे-धीरे भौतिकज्ञ ऊष्मा को अविनाशी द्रव्य के स्थान में एक प्रकार की ऊर्जा मानने लगे। हमारे चारों ओर जितनी शुद्ध यान्त्रिक घटनाएँ होती रहती है उन सब में सदैव ऊर्जा की अविनाशिता वर्तमान रहती है सिवाय उस अवस्था के जिसमें घर्षण विद्यमान रहता है और उसी से ऊष्मा की उत्पत्ति होती है। यदि ऊष्मा को भी ऊर्जा का ही एक रूप समझ लिया जाय तो ऊर्जा की अविनाशिता का सिद्धान्त व्यापक माना जा सकता है। यहाँ यह स्मरण कराने की आवश्यकता नहीं है कि लगभग गत शताब्दी के मध्य में भौतिकज्ञों के मन में यह सिद्धान्त किस प्रकार स्पष्टत प्रकट हुआ था और किस प्रकार ऊष्मा के यान्त्रिक तुल्यांक[1] को नाप कर इसकी पुष्टि की गयी थी। किन्तु यह विदित है कि केवल ऊर्जा की अविनाशिता का सिद्धान्त ही ऊष्मा-गतिकी के विज्ञान के निर्माण के लिए काफी नहीं है। उसमें कार्नो[2] के सिद्धान्त का अर्थात् एन्ट्रोपी[3] की वृद्धि के सिद्धान्त का समावेश भी आवश्यक है। कार्नो ने १८२४ में ही सबसे पहले इस सिद्धान्त की ओर संकेत किया था, जब उन्होंने अग्नि की सञ्चालन शक्ति[4] पर अपने विचार लिखे थे और उन्हें यह मालूम हुआ था कि ऊष्मा पूर्णत कार्य[5] में परिणत नहीं की जा सकती। इन्हीं विचारों से कुछ वर्षों बाद उस सिद्धान्त की उत्पत्ति हुई जिसका उपयोग हम आज करते हैं। उसे व्यक्त करने के लिए क्लासियस[6] ने एन्ट्रोपी की धारणा को जन्म दिया और यह प्रमाणित कर दिया कि किसी भी असम्बद्ध[7] निकाय की एन्ट्रोपी सदा बढ़ती ही जाती है।

इन दो मूल सिद्धान्तों के आधार पर ही ऊष्मा-गतिकी का विकास हुआ है जिसके द्वारा अनेक घटनाओं की प्रागुक्ति हो सकती है और जो उन घटनाओं की व्याख्या के लिए—विशेषकर समता के सिद्धान्त के लिए—अत्यन्त आवश्यक है। यह एक निरपेक्ष[8] विज्ञान है जिसमें केवल वस्तुओं में सञ्चित ऊर्जा की और ऊष्मा अथवा कार्य की मात्राओं के विनिमय[9] का ही विवेचन किया जाता है। वह मूल घटनाओं की बारीकियों का विस्तृत विवरण देने का प्रयत्न नहीं करता। उसका सम्बन्ध तो केवल घटनाओं के स्थूल पक्षों से ही है। अत मूल घटनाओं के विविध प्रकार के अनेक विवरणों के साथ उसकी सगतता सम्भव है। वह तो केवल उन प्रतिबन्धों का निर्णय कर देता है जिनका पूरा होना प्रत्येक विवरण के लिए आवश्यक है।

1 Mechanical equivalent of heat 2 Carnot 3 Entropy 4 Motive power 5 Work 6 Clausius 7 Isolated 8 Abstract 9 Exchange

इस प्रकार स्थूलता के विचार से चिरप्रतिष्ठित परमाणविक भौतिक विज्ञान ने घटनाओं के एक चित्र प्रस्तुत कर दिया था जो ऊष्मा-गतिकी के प्रतिनिधियों के प्रतिकूल पड़ता था। किन्तु बिलकुल भिन्न धारणाओं पर आश्रित होने पर भी स्थूलमान भौतिक विज्ञान भी उतना ही निश्चित प्रस्तुत करता है जो ऊष्मा-गतिकी से जाना ही जाता है। सांख्यिकीय सिद्धान्तों ने स्थूलमान विज्ञान के दृष्टिकोण से ऊष्मा-गतिकी के सारे परिणामों को गणना की गणित भाषा में पुनः प्रस्तुत करने का काम किया है। किन्तु इससे यह मान लेने का प्रश्न नहीं उठता कि स्थूलमान दृष्टि से भाग का त्याग उचित है। ऊष्मा-गतिकी स्थूल रूप से आकृतियों का ही विवरण करती है और सूक्ष्म मूल क्रियाओं के विस्तृत विवरण का प्रयत्न नहीं करती। यही कारण है कि उसमें उन गतिकियों का भय नहीं है जो इससे अधिक सांख्यिक सिद्धान्तों में अनिवार्य हैं जिनमें उन क्रियाओं के विवरण की चेष्टा की जाती है। ऊर्जा-सिद्धान्त वाले पहले बहुत-से भौतिकविज्ञों की धारणा थी कि अधिक सूक्ष्म दृष्टि, किन्तु अधिक सन्देहास्पद धारणाओं का त्याग करने की अपेक्षा ऊष्मा-गतिकी के इन स्थूलदर्शी प्रश्नों से ही सन्तोष कर लेना अधिक अच्छा है। इस दूरदर्शी भाग का नाम ऊर्जा विज्ञान[1] रखा गया है। किन्तु यद्यपि दूरदर्शिता बुद्धिमत्ता की जननी है तथापि सौभाग्य की कृपा साहसिकों पर ही होती है। इसलिए ऊर्जा विज्ञान के समर्थक तो ठोस किन्तु सीमित भूमि पर ही सतर्क रहते रहे किन्तु मूल घटनाओं के अधिक सूक्ष्म विवरण के पक्षपातियों ने परमाणुओं और कणिकाओं सम्बन्धी धारणाओं का विकास करके नवीन क्षेत्रों का आविष्कार कर लिया। प्रयोगों के द्वारा इन धारणाओं के इतने अधिक प्रमाण मिले हैं और इनके द्वारा अनेक ऐसे गुप्त सम्बन्धों का पता लगा है जिनके अस्तित्व का ऊर्जा विज्ञान को कभी सन्देह भी नहीं हो सकता था। आज तो ऊर्जा विज्ञान की पुरानी मनोवृत्ति यात्रा के उस मुकाम के समान हो गयी है जो बहुत ही पीछे छूट गया है। चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान के विकास के अध्ययन में प्रगति करने के लिए अब तो हमारे लिए परमाणुओं और कणिकाओं की नयी दुनिया में प्रवेश करना आवश्यक ही हो गया है।

1 Energetics

## तीसरा परिच्छेद

# परमाणु और कणिकाएँ[1]

### १ द्रव्य की परमाणुमय संरचना[2]

यह भली भाँति विदित है कि अत्यन्त प्राचीन काल के विचारकों को द्रव्य की परमाणुमय संरचना का थोड़ा-बहुत अन्तर्ज्ञान था। उनको इसकी उपलब्धि इस दार्शनिक धारणा के कारण हुई थी कि द्रव्य में अनन्त विभाज्यता की कल्पना करना संभव नहीं है और उसको उत्तरोत्तर अधिक छोटी मात्राओं में विभाजित करने की क्रिया का, कहीं न कहीं, अन्त हो जाना अनिवार्य है। उनकी दृष्टि में परमाणु वह चरम अविभाज्य अंश था जिससे परे जानने योग्य और कुछ हो ही नहीं सकता। आधुनिक भौतिक विज्ञान भी द्रव्य की पारमाणविक कल्पना पर जा पहुँचा है परन्तु उसका परमाणु उस प्राचीन परमाणु से सर्वथा भिन्न है क्योंकि अब वह अन्य अल्पतर अंशों का छोटे से आकार का जटिल संघटन माना जाता है। आधुनिक भौतिकज्ञों के मतानुसार पुरातन विद्वानों के अर्थ में तो सच्चे परमाणु इलेक्ट्रानों[3] जैसी वे मूल-कणिकाएँ ही हैं जो आज (संभवत अस्थायी रूप से) परमाणु की और इसलिए द्रव्य की भी चरम संघटक समझी जाती हैं।

यह विदित है कि सबसे पहले रसायनज्ञों ने ही आधुनिक विज्ञान में परमाणुओं को यथार्थत निविष्ट किया था। वास्तव में रासायनिक दृष्टि से सुनिर्दिष्ट पदार्थों के गुण धर्मों के अध्ययन का ही यह परिणाम था कि समस्त पदार्थों को दो वर्गों में विभाजित करना पड़ा था—(१) यौगिक पदार्थ जो उचित क्रिया करने से टूटकर सरलतर पदार्थों में परिणत हो सकते हैं और (२) वे निरवयव पदार्थ जिनके विघटन[4] के समस्त प्रयत्न विफल होते हैं (कम से कम उन अपवाद-स्वरूप तत्त्वान्तरणों[5] को

1 Atoms and Corpuscles 2 Atomic Structure of Matter 3 *Electrons*
4 Decomposition 5 Transmutations

छोड़कर जिनका नाम आधुनिक भौतिकी को हो चुका है)। ये निरवयव पदार्थ तत्त्व[1] कहलाते हैं। जिन परिमाणिक नियमों के अनुसार तत्त्व परस्पर मिलकर यौगिक पदार्थों का निर्माण करते हैं उन्हीं के विवेचन ने क्रमशः गत शताब्दी के रसायनज्ञों को निम्नलिखित सिद्धान्त का प्रतिपादन करने के लिए बाध्य किया था —

प्रत्येक तत्त्व अत्यन्त छोटे और बिलकुल एक-से कणों का बना हुआ होता है और ये उस तत्त्व के परमाणु कहलाते हैं। यौगिक पदार्थ अणुओं[2] द्वारा बने होते हैं जो कई परमाणुओं के संयोजन से निर्मित होते हैं।

इस सिद्धान्त के अनुसार किसी यौगिक पदार्थ का विघटन करके तत्त्वों को प्राप्त करने का अर्थ है अणुओं को तोड़कर उनमें अवस्थित परमाणुओं को मुक्त कर देना। पूर्णत सुनिश्चित तत्त्वों की सूची लम्बी हो गयी है। उसमें ८९ नाम हैं और जो कारण आगे चलकर बताये जायँगे उनके द्वारा यह निश्चित है कि यदि सूची पूरी होती तो उसमें कम से कम ९२ नाम होते। इसलिए जिन परमाणुओं से समस्त भौतिक पदार्थ बने हैं वे कम से कम ९२ प्रकार के हैं।

इस परमाणु सिद्धान्त ने केवल मूल रासायनिक घटनाओं की व्याख्या करने में ही सफलता नहीं प्राप्त की है, किन्तु उसके द्वारा भौतिक सिद्धान्तों के निर्माण में भी सहायता मिली है। यदि सचमुच ही वस्तुएँ परमाणुओं से बनी हुई है तो इस पारमाणविक संरचना के आधार पर ही उनके भौतिक गुणों की प्रागुक्ति संभव होनी चाहिए। उदाहरण के लिए गैसों के सुपरिचित गुणों की व्याख्या इस धारणा के द्वारा हो सकनी चाहिए कि वे तीव्रगामी अणुओं और परमाणुओं की बहुत बड़ी संख्या के द्वारा बनी हुई हैं। जिस पात्र में गैस भरी हो उसकी दीवारों पर गैस का जो दबाव होता है वह उन दीवारों पर लगनेवाली अणुओं की टक्करों के कारण ही होना चाहिए।

गैस का टेम्परेचर इन अणुओं के औसत आन्दोलन से सम्बन्धित होना चाहिए और टेम्परेचर के बढ़ने से इस आन्दोलन में वृद्धि भी होनी चाहिए। गैसों के सम्बन्ध में इस धारणा का विकास गैसों के गत्यात्मक सिद्धान्त[3] के रूप में हुआ है और उसके द्वारा गैसों के प्रयोगात्मक नियमों में संशोधन भी हुआ है। इसके अतिरिक्त यदि पारमाणविक धारणा तथ्य का यथार्थ निरूपण हो तो ठोस और द्रव द्रव्यों के गुण धर्मों की व्याख्या भी यह मानकर हो जानी चाहिए कि इन भौतिक अवस्थाओं

1 Elements 2 Molecules 3 Kinetic theory

में अणु या परमाणु गैसों की अपेक्षा बहुत नजदीक-नजदीक होते हैं और उनके पारस्परिक बंधन अधिक प्रबल होते हैं। जब अणु या परमाणु बहुत अधिक पास पास होते हैं तो उनके पारस्परिक बल भी बहुत बड़े हो जाते हैं यह मान लेने से ठोस और द्रव पदार्थों के असंपीड्यता[1], समजन[2] आदि गुणों का कारण भी समझ में आ सकता है। इस दिशा में जिन सिद्धान्तों का विकास हुआ है उनमें कुछ कठिनाइयाँ भी उपस्थित हुई थीं जिनमें से अनेक तो क्वाटम सिद्धान्त के द्वारा दूर हो गयी हैं। फिर भी उनसे निकले हुए परिणाम अधिकतर इतने संतोषजनक हैं कि यह मान लेना अनुचित नहीं कि हम ठीक मार्ग पर ही चल रहे हैं।

किन्तु यद्यपि पारमाणविक परिकल्पना अनेक भौतिक सिद्धान्तों के आधार के रूप में उपयोगी सिद्ध हुई है फिर भी उसकी पूर्ण प्रतिष्ठा के लिए यह बात कम अनिवार्य नहीं थी कि उसकी यथार्थता पूर्णतः अथवा अंशतः प्रत्यक्ष प्रयोगों के द्वारा भी प्रमाणित कर दी जाय। इस काम का अधिकतर भाग तीस वर्ष पहले उन भौतिकज्ञों के द्वारा सम्पन्न हुआ था जिनमें जीनपेरा को अवश्य ही अग्रणी समझना चाहिए। इस प्रसंग में उनके प्रयोग चिरस्मरणीय रहेंगे। यद्यपि यह असम्भव है कि इन अणुओं या परमाणुओं की गति को हम प्रत्यक्ष देख सकें तथापि कम से कम यह तो सम्भव है ही कि गैस या द्रव में तैरते हुए अत्यन्त छोटे कणों में अणुओं अथवा परमाणुओं की टक्करों से उत्पन्न उच्छृंखल[3] गति का हम प्रेक्षण कर सकें। ब्राउनीय गति[4] नामक इस विक्षुब्ध गति के अध्ययन के द्वारा साधारण टेम्परेचर और दबाव की अवस्था में किसी भी गैस के एक ग्राम-अणु[5] में विद्यमान अणुओं की संख्या का अनुमान करने में जीनपेरा को सफलता प्राप्त हो गयी। यह विदित है कि साधारण रसायन विज्ञान के ऐवोगाड्रो[6] द्वारा आविष्कृत सुविख्यात नियम के अनुसार यह संख्या समस्त गैसों के लिए बराबर है। यह ऐवोगाड्रो की संख्या[7] कहलाती है। जीनपेरा के प्रयोगों के द्वारा इस संख्या का मान ६×१०[23] और ७×१०[23] के बीच निकला था और उसके बाद जितने भी प्रयोग किये गये हैं उनसे इस अनुमान की आश्चर्यजनक पुष्टि हुई है। ऐवोगाड्रो-संख्या का अनुमान अन्य अनेक प्रकार की रीतियों से भी प्राप्त हो सकता है। ये रीतियाँ कई सर्वथा विभिन्न घटनाओं के अध्ययन पर आधारित हैं यथा ऊष्मा-सन्निवाय गह्वर में अवस्थित विकिरण ऊर्जा[8] का

1 Incompressibility 2 Cohesion 3 Random 4 Brownian motion 5 Gram molecule 6 Avogadro 7 Avogadro Number 8 Radiant energy

स्पैक्ट्रमीय वितरण[1] गैस द्वारा प्रकाश का प्रकीर्णन[2] स्वात्मर्जी पदार्थों[3] से ऐल्फ किरणों का उत्सर्जन[4]। इन विविध रीतियों से प्राप्त एवोगाड्रो की संख्या के तथा उनके द्वारा निगमित[5] अन्य पारमाणविक राशियों (यथा हाइड्रोजन के परमाणु का द्रव्यमान) के मानों में इतनी समता पायी गयी है कि अब पारमाणविक परिकल्पना की सत्यता में सन्देह नहीं किया जा सकता।

इस प्रकार रसायनज्ञों द्वारा कल्पित परमाणुओं का अस्तित्व भौतिकज्ञों द्वारा प्रत्यक्षतः प्रमाणित कर दिया गया है। अब यह देखना है कि सैद्धान्तिकों ने इसका उपयोग किस प्रकार किया है।

## २ गैसों का गत्यात्मक सिद्धान्त और सांख्यिकीय यान्त्रिकी[6]

यदि हम वह दृष्टिकोण स्वीकार कर लें जिसमें यह मान लिया जाता है कि समस्त पदार्थ परमाणुओं से बने हैं तो हमें यह मानना पड़ता है कि गैस अवस्था में ये परमाणु औसत रूप से इतने अधिक दूर-दूर अवस्थित रहेंगे कि समय के अधिकतर भाग में तो वे पारस्परिक प्रभाव से मुक्त ही रहेंगे। कभी-कभी अत्यन्त थोड़े समय के लिए कोई परमाणु गैस के अन्य किसी परमाणु के अथवा पात्र की दीवार के इतने निकट जा पहुँचेगा कि उस पर उनकी प्रतिक्रिया हो सके। ऐसी अवस्था में यह कहा जाता है कि उसकी अन्य किसी परमाणु से अथवा पात्र की दीवार से टक्कर हो गयी। दो टक्करों के बीच में परमाणु स्वतन्त्र रूप से गमन करेगा और उस पर कोई ऐसा बल नहीं लगेगा जो उपेक्षणीय न हो। और यद्यपि प्रति सेकंड होनेवाली टक्करों की संख्या बहुत ही अधिक होती है तथापि किसी भी परमाणु के लिए इन टक्करों में लगनेवाला समस्त समय स्वतन्त्र गति के समय की अपेक्षा अनन्ततः स्वल्प होगा। यदि यह मान लिया जाय कि चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के नियम परमाणुओं के लिए भी यथार्थ हैं तो स्पष्ट है कि दो टक्करों के बीच में परमाणु की गति सरल रेखात्मक तथा अचर वेगवाली होनी चाहिए और यद्यपि विभिन्न प्रकार की टक्करों के विभिन्न परिणाम होंगे तथापि उन सब टक्करों में ऊर्जा और संवेग की अविनाशिता के नियमों का पालन होना ही चाहिए। और अगर यह भी मान लिया जाय—कम से कम इन टक्करों के परिणामों की प्रागुक्ति के लिए ही—कि परमाणु भी दृढ़ प्रत्यास्थ-गोलों के समान समझे जा सकते हैं तब तो चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के समीकरणों

1 Spectral distribution 2 Scattering 3 Radio active 4 Emission 5 Deduced 6 Statistical Mechanics

की सहायता से गैस की सम्पूर्ण प्रक्रिया का परिकलन सभव हो जाना चाहिए। किन्तु यद्यपि गैस का जो रूप उसे दृढ प्रत्यास्थ-गोला के सदृश अणुआ और परमाणुआ से बनी मान लेने से प्रकट होता है उसकी समस्या पूर्णत सुनिर्दिष्ट है और सिद्धान्तत उसका पूर्णत शुद्ध हल भी सभव है तथापि इस समस्या में इतनी जटिलताए विद्यमान है कि उसका यथार्थ और ब्योरेवार हल प्राप्त कर सकने की कोई सभावना हो ही नही सकती। यह बात समझने के लिए हमें स्मरण रखना चाहिए कि साधारण अवस्थाओ में प्रत्येक घन सेन्टीमीटर आयतन में परमाणुआ की संख्या $१०^{११}$ का कोटि की होती है और इनमें से प्रत्येक परमाणु पर प्रति सेकड लगभग $१०^{१}$ टक्करें लगती रहती है।

अत यह समस्या असाध्य ही मालूम पडती है। फिर भी जिन नियमो का आधिपत्य गैसो पर है वे अत्यन्त सरल है—कम से कम उस दशा में जब हम प्रथम सन्निकटना से ही सतुष्ट रह सकें (आदर्श गैसो के नियम)। अत यह बात सभवत बडा विचित्र जान पडेगी कि गतिशील परमाणुओ की धारणा के द्वारा गस का जो इतना जटिल रूप प्रकट होता है उससे प्रारम्भ करके हम इतने सरल नियमो का कारण समझने की आशा करते है। किन्तु वास्तव में इन सरल नियमो के निगमन की सभावना का कारण गैसो के स्वरूप की इस जटिलता की पराकाष्ठा ही है। गसो के अणुओ में वर्तमान गत्यात्मक प्रक्रियाओ की संख्या असाधारणत बडी होने के कारण ही हम प्रायिकता-कलन[1] की सहायता से इन प्रक्रियाओ की समष्टि का अध्ययन कर सकते है और इनके माध्यो के नियम इतनी यथार्थतापूर्वक और बहुधा अत्यन्त सरल रूप में प्राप्त कर सकते है। इन नियमो के किसी अपवाद के प्रेक्षण की सभावना बहुत ही कम है क्योकि इन औसत परिणामो को प्राप्त करने के लिए जिन सूक्ष्म प्रक्रियाओ का उपयोग किया गया है उनकी संख्या असाधारणत बडी है।

गसो के गत्यात्मक सिद्धान्त का विकास १९ वी शताब्दी के उत्तरार्ध के प्रारम्भ में मुख्यत मक्सवल[2] और क्लासियस[3] के द्वारा सम्पन्न हुआ था और यह कहा जा सकता है कि बोल्ट्ज़मान[4] के प्रयत्न से ही उसके नियमो का निर्माण हुआ था। हमारा इरादा यहाँ इस सिद्धान्त के मुख्य परिणामो का विवरण सक्षिप्त रूप में भी देने का नही है क्योकि जिन्होने सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान का थोडा भी अध्ययन किया है वे सब इन परिणामो से सुपरिचित है। इतना ही कह देना काफी होगा कि

1 Calculus of Probabilities 2 Maxwell 3 Clausius 4 Boltzmann

इसमें पात्र की दीवारों पर पड़नेवाले दबाव की उत्पत्ति गैस के अणुओं की आपस टक्करों के कारण मानी गयी है और इसके अणुओं की गतिज ऊर्जा का औसत मान ताप का माप माना गया है। इससे आदर्श गैस का अवस्था-समीकरण[1] सरलता से प्राप्त हो जाता है। विशिष्ट ऊष्मा[2] गैसों के विसरण[3] तथा उनकी श्यानता[4] इत्यादि के सम्बन्ध में अनेक प्रकार के विचार और प्रथम सन्निकटन तक यथार्थ प्रागुक्तियाँ भी इस सिद्धान्त द्वारा प्राप्त हुई हैं। यह सच है कि अभी इस क्षेत्र में अनेक प्रश्नों का समाधान होना बाकी है। अभी हाल में ही ईव्स रोकर्ड[5] जैसे विद्वानों के अनुसंधानों के द्वारा कई नये तथ्य अवश्य सामने आये हैं। फिर भी सब बातों पर दृष्टि रखकर यह मानना ही पड़ता है कि द्रव्य की परमाणुमयी परिकल्पना पर आधारित गैसों की गत्यात्मक धारणा से ही वास्तविकता का बहुत अच्छा चित्रण हो सका है।

ऐन्ट्रापी की धारणा का स्पष्टीकरण गैसों के गत्यात्मक सिद्धान्त की एक बहुत बड़ी सफलता है। गैस के परमाणुओं की पारस्परिक टक्करों का और उनके द्वारा सन्तुलित अवस्था की स्थापना का विश्लेषण करके बोल्टजमान ने एक ऐसी राशि की कल्पना को जन्म दिया है जो इन टक्करों के ही कारण बराबर तब तक बढ़ती ही जाती है जब तक कि सन्तुलित अवस्था स्थापित न हो जाय और तब इस लाक्षणिक राशि का मान महत्तम हो जाता है। ऐन्ट्रापी से इस राशि की समानता प्रत्यक्ष है और बोल्टजमान ने प्रमाणित कर दिया कि ऐन्ट्रापी गैसीय द्रव्य की तात्कालिक अवस्था की प्रायिकता[6] के लागरिथ्म[7] के बराबर होती है।

ऐन्ट्रापी की जिस धारणा को आरी प्वाकरे[8] ने अन्यत्र अभौतिक घोषित कर दिया था उसके भौतिक अर्थ पर इस वक्तव्य के द्वारा विशद प्रकाश पड़ा है। और अब कार्नोमियस के जिस प्रमेय के अनुसार किसी भी अनन्यसक्त वस्तु निकाय की ऐन्ट्रापी बराबर बढ़ती ही जाती है उसका अर्थ यह हो गया है कि किसी भी अनन्य-समसक्त वस्तु निकाय का विकास स्वतः ही उन अवस्थाओं की दिशा में होता है जिनकी प्रायिकता अधिक होती है। ऐन्ट्रापी की यह सुन्दर परिभाषा परमाणु सिद्धान्त के समर्थकों की अपूर्व सफलता प्रकट करती है।

ऊर्जा विज्ञान में तो एंट्रोपी का सिद्धान्त एक अबाध्य प्रायोगिक तथ्य मात्र समझा जाता था, किन्तु गत्यात्मक सिद्धान्त ने अव्यवस्थित रूप से दौड़ते हुए असंख्य

1 Equation of State 2 Specific heat 3 Diffusion 4 Viscosity 5 Yves Rocard 6 Probability 7 Logarithm 8 Henry Poincare

परमाणुओ के सांख्यिकीय विकास का विवेचन करके इस सिद्धान्त का भौतिक रहस्य समझने में अनायास ही सफलता प्राप्त कर ली।

इस प्रकार गत्यात्मक सिद्धांत के द्वारा सैद्धान्तिकों का ध्यान बहुसंख्यक सूक्ष्म और असम्बद्ध यांत्रिक प्रक्रियाओं के सामूहिक तथा सांख्यिकीय पक्षों की ओर आकर्षित हुआ। और तब यांत्रिकी के व्यापक नियमों तथा प्रायिकता-कलन के सिद्धांतों के आधार पर इन पक्षों के नियमित अध्ययन की प्रेरणा भी इसी गत्यात्मक सिद्धांत से मिली। और पहले बोल्टजमान ने और बाद में गिब्स ने सचमुच ही ऐसा अध्ययन कर लिया जिसका फल यह हुआ कि सांख्यिकीय यांत्रिकी[1] नामक एक नवीन विज्ञान का जन्म हो गया। इस सांख्यिकीय यांत्रिकी के द्वारा केवल गत्यात्मक सिद्धांत के सभी सारपूर्ण परिणामों की पुनःस्थापना ही नहीं हुई, किन्तु उसके द्वारा ऐसे व्यापक नियमों का भी उदघाटन हो गया है जो गैसों के अतिरिक्त अणुओं और परमाणुओं के अन्य निकायों पर भी लागू किये जा सकते हैं—यथा ठोस पिण्डों पर। ऊर्जा के समविभाजन[2] का सुविख्यात नियम भी ऐसे ही नियमों का उदाहरण है। इसके अनुसार किसी भी बहुसंख्यक अवयववाले निकाय की सन्तुलित अवस्था में उसकी ऊर्जा विभिन्न स्वतंत्रता की कोटियों[3] में इस प्रकार वितरित होती है कि प्रत्येक कोटि की औसत ऊर्जा का परिमाण बराबर रहता है और यदि निकाय का परम टेम्परेचर[4] T हो तो यह परिमाण T का अनुपाती होता है। गैसों के लिए तो इस नियम के अनन्त रोचक और बहुधा सु-सत्यापित परिणाम निकलते ही हैं, किन्तु ठोस पिण्डों के लिए भी इस नियम का प्रागुक्त परिणाम यह निकलता है कि साधारणतः उनकी परमाणविक-ऊष्मा[5] का मान ६ के बराबर होना चाहिए (डयूलाग और पटिट का नियम[6])। अततः वह ३ से कम तो कभी हो ही नहीं सकता। ये प्रागुक्तियाँ भी बहुसंख्यक दशाओं में उतनी ही सुसत्यापित प्रमाणित हुई हैं। फिर भी यद्यपि सांख्यिकीय यांत्रिकी की ये संशयहीन प्रागुक्तियाँ बहुधा प्रयोगात्मक परीक्षा में सही निकली हैं तो भी कभी-कभी ये अपर्याप्त भी पायी गयी हैं। जैसे बहुत नीचे टेम्परेचरों पर गैसों की स्थिर आयतनवाली विशिष्ट ऊष्मा का परिवर्तन इस सिद्धान्त की प्रागुक्ति के अनुसार नहीं होता और कुछ ठोस पिंडों (यथा हीरे) की परमाणविक ऊष्मा ३ से बहुत कम होती है। ये विपरीत बातें अवश्य ही क्षोभकारी थीं क्योंकि सांख्यिकीय यांत्रिकी की विधियाँ इतनी व्यापक होती हैं कि उनमें अपवाद होना ही

1 Statistical Mechanics 2 Equipartition 3 Degrees of freedom 4 Absolute temperature 5 Atomic heat 6 Dulong and Petit's Law

नही चाहिए। और इसीलिए यह बात समझ मे नही आती थी कि इतनी सु सत्यापित प्रागुक्तिया के साथ ही-साथ इस सिद्धान्त को कुछ प्रसगो मे निर्विवाद रूप से असफलता क्यो मिले। हम देखेंगे कि क्वाटमा के आविष्कार ने ही चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी की और फलत गिब्स और बोल्टजमान की सांख्यिकीय यान्त्रिकी की विधियो के औचित्य की सीमाओ को निर्दिष्ट करके इस स्थिति के रहस्य का उदघाटन कर दिया है।

सांख्यिकीय यान्त्रिकी ने ऊष्मागतिकीय परिणामो का जो अर्थ बताया है उसके अनुसार ऊष्मा-गतिकी के नियमो मे कठोर अनिवार्यता का गुण नही है। केवल उनके सत्यापन की प्रायिकता असाधारण रूप से अधिक है। जैसे यदि किसी पात्र मे भरी हुई गैस का टेम्परेचर स्थिर रहे तो उसके ऊष्मा गतिकीय गणना से प्राप्त दबाव और ऐंटापी केवल इन राशियो के ऐसे प्रायिकतम मान मात्र है जो उन आरोपितप्रति बन्धो से सगत हो। किन्तु ये प्रायिकतम मान अन्य अत्यन्त निकटवर्ती मानो से इतने अधिक प्रायिक होते है कि केवल उन्ही का प्रेक्षण हो सकता है। सिद्धान्तत इन राशियो के तात्क्षणिक मानो में ऊष्मा-गतिकी द्वारा परिकल्पित प्रायिकतम मानो की अपेक्षा कुछ घट-बढ[1] भी सभव है। यह घट-बढ अधिकतर तो इतनी कम और इतनी विरल होती है कि वह प्रेक्षण-सुलभ नही होती किन्तु कुछ अनुकूल स्थितियो मे वह प्रत्यक्ष भी हो सकती है। उदाहरण के लिए हमे मालूम है कि सक्रमण[2] टेम्परेचर के निकट गैस के घनत्व की घट-बढ कुछ प्रेक्षण गम्य अभिव्यक्तिया उत्पन्न कर देती है (सक्रमणिक मेघिता[3])।

सांख्यिकीय यान्त्रिकी की सफलता के कारण भौतिकज्ञो को प्राकृतिक नियमो की उत्पत्ति सांख्यिकीय मानने का अभ्यास हो गया है। गसीय द्रव्य में सूक्ष्म प्रक्रियाओ की सख्या अत्यधिक होने के कारण गैस के दबाव और एंटापी सरल नियमो का पालन करते है। ऊष्मागतिकीय नियम ऐसी परमाणु-स्तरीय घटनाओ के सांख्यिकीय परिणाम मात्र है जिनका प्रत्यक्ष अध्ययन और सूक्ष्म विश्लेषण असभव है। अर्थात् वे प्रायिकता के नियम है। पूर्णत यथार्थ यान्त्रिकीय नियम और यान्त्रिक घटनाओ की चरम प्राक निर्णीतता तो परमाणु जगत मे ही रह जाते है और वहा वह प्रेक्षणगम्य नही होते। स्थूल जगत में केवल उनके औसत प्रायिक परिणाम ही प्रेक्षणगम्य होते है। इसी कारण सबसे पहले उस समय प्रायिकता के नियमो के महत्त्व की ओर ध्यान आकर्षित हुआ था और इस तथ्य की ओर भी कि कम से कम घटनाओ की बहुत बडी

1 Fluctuations 2 Critical 3 Critical opalescence

सख्या के लिए तो प्रेक्षण गम्य नियम औसता के ही नियम होते ह। हम देखेंगे कि तरग यान्त्रिकी के द्वारा इस दृष्टि-कोण को और अधिक बल मिला ह और उसमें यह भी माना जाने लगा है कि स्वय मूल-कणो के प्रेक्षण गम्य नियम भी प्रायिकता के ही नियम हैं।

## ३ विद्युत् की कणिकामय सरचना—इलैक्ट्रान और प्रोटान[1]

जो हम ऊपर लिख आये है उससे यह स्पष्ट हो जाता है कि रसायन विज्ञान के समान ही भौतिक विज्ञान मे भी वह परिकल्पना सफल प्रमाणित हुई ह जिसमें वस्तुएँ अणुओ द्वारा बनी हुई और अणु मूल परमाणुओ के विविध प्रकार के सघटन माने गये है, और प्रयोगो द्वारा भी इसकी अच्छी पुष्टि हुई ह। किन्तु भौतिकज्ञो ने इतने से ही सतोष नही किया। उन्होने यह भी जानना चाहा कि स्वय परमाणुओ की बनावट किस प्रकार की है और यह समझना चाहा कि विभिन तत्त्वो के परमाणुओ में अन्तर किस प्रकार का है। इस कठिन काय में उन्हें विद्युत् की सरचना के ज्ञान की प्रगति से बहुत सहायता मिली है। वैद्युतिक घटनाओ के अध्ययन के प्रारम्भ से ही यह समझना स्वाभाविक मालूम देता था कि विद्युत एक तरल पदाथ ह और जब धातु के किसी तार में विद्युत-धारा चलती है तो यह माना जाता था कि उस तार में किसी वैद्युतिक तरल का प्रवाह हो रहा है। किन्तु यह भी बहुत पहले से ज्ञात था कि विद्युत् दो प्रकार की होती है—धन विद्युत और ऋण विद्युत। इसलिए यह मानना भी आवश्यक जान पडा कि वैद्युतिक तरल भी दो विभिन्न प्रकार के होते हैं—धन-तरल और ऋण-तरल। इन तरलो को भी हम दो विभिन्न प्रकार से चित्रित कर सकते हैं, या तो हम यह कल्पना कर सकते है कि जिस प्रदेश में इन तरलो का अस्तित्व होता है उस सम्पूर्ण प्रदेश में कोई पदाथ सतत अथवा अविच्छिन्न[2] रूप से भरा हुआ है या हम यह समझ सकते ह कि इन तरलो का स्वरूप अनेक अत्यन्त छोटी कणिकाओ से सघटित बादल के समान होता ह और प्रत्येक कणिका विद्युत की एक अत्यन्त छोटी-सी गोली के समान होती है। प्रयोग ने द्वितीय धारणा के ही पक्ष में फैसला दिया है। चालीस वप पहले यह प्रमाणित हो गया था कि ऋण विद्युत ऐसी अत्यन्त छोटी-छोटी कणिकाओ के द्वारा बनी हुई है जो सब बिल्कुल एक-सी होती ह और जिनका द्रव्यमान और वैद्युतिक आवेश असाधारणत छोटा होता है। ऋण

1 The Granular strutcture of Electricity Electrons and Protons
2 Continuous

विद्युत् की इन कणिकाओं को इलेक्ट्रान[1] कहते हैं। सबसे पहले ये इलेक्ट्रान विसर्ग नलिकाओं[2] में द्रव्य से बाहर स्वतन्त्र अवस्था में कैथोड किरणों[3] के रूप में प्रकट हुए थे। और बाद में प्रकाश-वैद्युत[4] विधि से तथा तापदीप्त[5] वस्तुओं में से तापायनिक उत्सर्जन[6] के द्वारा इलेक्ट्रानों को प्राप्त करने के तरीके भी हमें मालूम हो गये। इसके पश्चात् स्वतःसर्जी[7] पदार्थों के आविष्कार से हमें इलेक्ट्रानों को प्राप्त करने के नये स्रोत मिल गये क्योंकि इन बहुत से पदार्थों में से स्वतः ही बीटा किरणें[8] निकलती रहती हैं जो अति तीव्रगामी इलेक्ट्रानों के अतिरिक्त और कुछ नहीं होतीं। यह भी प्रमाणित हो गया है कि सभी इलेक्ट्रानों में चाहे वे किसी भी प्रकार से उत्पन्न हुए हों बराबर मात्रा का अत्यन्त स्वल्प ऋण-वैद्युतिक आवेश रहता है। शून्यानाकों में उनकी गति के अध्ययन से हम यह प्रमाणित करने में भी सफल हो गये हैं कि विद्युत से आविष्ट सूक्ष्म कणिकाओं के यान्त्रिकीय नियमों के अनुसार जिस प्रकार की गति उनमें होनी चाहिए ठीक वैसी ही गति वास्तव में उनकी होती भी है। और वैद्युत अथवा चुम्बकीय क्षेत्र में इन सूक्ष्म कणिकाओं की गति का प्रेक्षण करके हमने उनके द्रव्यमान तथा वैद्युतिक आवेश को भी नाप लिया है, यद्यपि ये दोनों राशियाँ अत्यन्त ही छोटी होती हैं।

धन विद्युत की कणिकामय बनावट का प्रमाण प्राप्त करने में कुछ अधिक समय लगा था। फिर भी भौतिकज्ञ इस परिणाम पर पहुँच गये हैं कि धन विद्युत भी अन्तिम विश्लेषण में सर्वथा एक-सी छोटी कणिकाओं (प्रोटानों[9]) के द्वारा संघटित होती है। यद्यपि प्रोटान का द्रव्यमान भी अत्यन्त छोटा होता है, फिर भी वह इलैक्ट्रान की अपेक्षा लगभग दो हजार गुना भारी होता है। इस बात से धन विद्युत और ऋण विद्युत में अद्भुत विसममितता[10] प्रकट होती है। इसके विपरीत प्रोटान के आवेश का निरपेक्ष मान ठीक इलैक्ट्रान के आवेश के बराबर होता है किन्तु स्वभावतः ही वह धन चिह्नीय होता है ऋण चिह्नीय नहीं। कुछ समय पहले तक तो प्रोटान ही धन विद्युत की मूल-कणिका समझा जाता था। किन्तु धन इलेक्ट्रान[11] के आविष्कार ने इस विषय में जटिलता उत्पन्न कर दी है। हम आगे चलकर देखेंगे कि सचमुच ही हमें धन विद्युत की ऐसी कणिकाओं का पता चल गया है जिनका द्रव्यमान ठीक इलेक्ट्रान के द्रव्यमान के बराबर होता है और जिनका वैद्युत आवेश भी ठीक इलैक्टान

1 Electron 2 Discharge tubes 3 Cathode rays 4 Photo electric 5 Incandescent 6 Thermionic emission 7 Radio active 8 β rays 9 Protons 10 Dissymmetry 11 Positive electron

के आवेश के बराबर, किन्तु विपरीत चिह्नीय होता है। ये ही धन इलैक्ट्रान या पाज़ी ट्रान[1] हैं। तब धन विद्युत की वास्तविक मूल कणिका कौन-सी है? वह प्रोटान है या पाजीट्रान? या हमें यह समझना चाहिए कि धन विद्युत की मूल-कणिकाएं दो प्रकार की होती हैं और परस्पर अपरिणम्य होती हैं? धन इलक्ट्रान से कुछ ही पहले जिस न्यूटान[2] का आविष्कार हुआ था उससे तो ऐसी धारणा होना सभव है कि प्रोटान मौलिक नही हैं। वह एक न्यूटान के साथ एक पाजीट्रान के सयोजन से बनता है। किन्तु आज तो हम यह मानने लगे हैं कि प्रोटान और न्यूट्रान दोनो एक ही मूल कणिका की दो विभिन्न अवस्थाएँ हैं। जो भी हो, कुछ समय पहले तक तो भौतिकज्ञ सदा प्रोटान का ही धन विद्युत की मूल-कणिका मानते थे। इस समय तो यहा भी हम इसी दृष्टिकोण का अवलम्बन करेंगे।

यह सच है कि इलैक्ट्रानो और प्रोटानो का द्रव्यमान अत्यन्त छोटा होता है। फिर भी वह पूर्णत शून्य के बराबर नही होता। अत इलैक्ट्रानो और प्रोटानो की बहुत बडी सख्या का सम्मिलित द्रव्यमान प्रेक्षण-गम्य हो जाता है। इसलिए यह धारणा बहुत आकर्षक मालूम होती थी कि समस्त भौतिक वस्तुएँ जिनका आवश्यक लक्षण यह है कि उनमे भार और अवस्थितित्व होते है अर्थात् द्रव्यमान होना है वे सब अन्तिम विश्लेषण में केवल बहुसख्यक इलैक्ट्रानो और प्रोटानो के द्वारा ही निर्मित हुई है। इस दृष्टिकोण से यह मानना पडता है कि तत्वो के परमाणु भी जो समस्त भौतिक वस्तुओ के निर्माण के चरम सघटक है, प्रोटानो और इलक्ट्रानो द्वारा ही निर्मित होते है और ९२ तत्वो के ९२ प्रकार के विभिन्न परमाणु भी इलक्ट्रानो और प्रोटानो के ९२ प्रकार के विभिन्न सयोजनो के ही द्वारा बने हैं।

तब यह प्रश्न उपस्थित होता है कि इलैक्ट्रानो और प्रोटानो के ये सयोजन किस प्रकार के होते है अर्थात परमाणुओ के प्रतिरूप[3] बनाने की आवश्यकता प्रतीत होती है। इसके लिए विभिन्न परिकल्पनाएँ प्रस्तावित हुई थी। एक प्रतिरूप जिसको थोडी बहुत मान्यता मिली थी सर जे० जे० टामसन[4] द्वारा प्रस्तुत किया गया था। ये वही प्रसिद्ध भौतिकज्ञ है जिनके प्रयत्नो से द्रव्य के सघटन को यथार्थतापूर्वक समझने में बहुत अधिक सहायता मिली है। इस प्रतिरूप में परमाणु का धन विद्युत की ऐसी समांग गोली के रूप में चित्रित किया गया है जिसके अन्दर ऋण इलक्ट्रान सन्तुलित अवस्था में उपस्थित रहता है। किन्तु एक दूसरा प्रतिरूप और है जिसने अन्त में इसका निराकरण

1 Positron 2 Neutron 3 Model 4 Sir J J Thomson

कर दिया। यह रदरफोड बोह्र प्रतिरूप[1] कहलाता है। इसमे परमाणु का सौर मडल के सूक्ष्माकार प्रतिरूप के समान माना गया है जिसमे केन्द्रीय धन विद्युत के आवेश के चारो ओर इलैक्ट्रान वैद्युत आकर्षण के कारण परिभ्रमण करते है। यह प्रतिरूप सबसे पहले जीनपेरा[2] द्वारा प्रस्तुत किया गया था और बाद मे आलफा कणिकाओ[3] के द्रव्य के सम्पर्क से उत्पन्न हुए विक्षेप के अध्ययन से इसका सत्यापन हुआ था। यह अध्ययन मुख्यत लार्ड रदरफोर्ड और उनके सहकारियो द्वारा किया गया था और इससे यह प्रमाणित हो गया कि सौर मडलीय प्रतिरूप की भाति ही परमाणु का समस्त धन विद्युत भी परमाणु के केन्द्र मे अत्यन्त ही छोटे-से आयतन मे एकत्र रहता है। इससे प्रकट होता है कि परमाणु के केन्द्र मे धन विद्युत से आविष्ट एक कणिका होती है जिसे नाभिक[4] कहते है और इस सूर्योपम नाभिक के चारो ओर ग्रहोपम इलैक्ट्रान कूलम्बीय वैद्युत बल के प्रभाव मे परिभ्रमण करते रहते है। प्रत्येक परमाणु के विशेष प्रकार के गुणो का कारण इन्ही ग्रहोपम इलैक्ट्रानो की वह सख्या Z है जो साधारण अवस्था में उस परमाणु मे विद्यमान रहती है। सामान्यत परमाणु का वैद्युत दृष्टि मे *अनाविष्ट[5] होना यह प्रकट करता है कि जिस परमाणु* मे Z इलैक्ट्रान होगे उसके नाभिक मे धन विद्युत का परिमाण अवश्य ही Z इलैक्ट्रानो के आवेश के बराबर, किन्तु विपरीत चिह्नीय होगा। जिस परमाणु मे केवल एक ही ग्रहीय इलैक्ट्रान रहता है उसके नाभिक में विद्युत् का आवेश एक इलक्ट्रान के आवेश के बराबर, किन्तु विपरीत चिह्नीय होना चाहिए। और दूसरे परमाणुओ के नाभिको में धन विद्युत का परिमाण इसी का अपवर्त्य[6] होना चाहिए। अत एक इलैक्ट्रान वाले परमाणु (हाइड्रोजन परमाणु) के नाभिक को धन विद्युत का मात्रक समझा जा सकता है। यह ठीक वही प्रोटान है जिसकी चर्चा हम ऊपर कर चुके है। इस प्रकार प्रत्येक परमाणु का एक लक्षक पूर्णाक Z होता है जिसे परमाणु क्रमाक[7] कहते है और इसके द्वारा हम ९२ तत्त्वो को ऐसे रखिक क्रम मे लिख सकते है जिसमे परमाणु क्रमाक क्रमश १ से ९२ तक बराबर बढता जाय। प्राक्कथ्यत तो सभावना इसी की अधिक मालूम होती है कि यह क्रम ठीक वही क्रम होगा जिसमें परमाणु भार निरन्तर बढता जाय क्योकि नाभिक जितना ही अधिक जटिल होगा उतना ही उसका भार भी अधिक होना चाहिए। बहुत-सी घटनाओ के द्वारा विभिन्न तत्त्वो के परमाणु क्रमाक असदिग्ध रूप से निश्चित हो गये है। ऐसी एक घटना तत्त्वो

1 Rutherford Bohr model 2 Jean Perrin 3 α Pariteles 4 Nucleus 5 Neutral 6 Multiple 7 Atomic Number

के ऐक्स किरण स्पैक्ट्रम की समानधर्मी[1] रेखाओं की आवृत्ति विस्थापन[2] है। मासले[3] के प्रायोगिक नियमानुसार यह विस्थापन परमाणु-क्रमांक के वर्ग का अनुपाती होता है। कुछ थोडे से विपर्ययों को छोडकर वर्धमान परमाणु क्रमांकों का यह क्रम वर्धमान परमाणु भारों के क्रम से अभिन्न है।

इस तरह परमाणु का ग्रहीय[4] सिद्धांत प्रयोगों के द्वारा समर्थित भी हो गया है। १९१३ के एक सुविख्यात लेख में इस सिद्धान्त के गणितीय रूप का विकसित करने में भी बोह्र को सफलता प्राप्त हुई जिससे प्रकाशिक स्पेक्ट्रमों तथा रन्जन[5] स्पेक्ट्रमों की यथातथ प्रागुक्ति सम्भव हो गयी है। किन्तु इन अद्भुत परिणामों को प्राप्त करने के लिए बोह्र परमाणु के ग्रहीय प्रतिरूप पर क्वांटम सिद्धांत की पथ प्रदर्शक धारणाओं का उपयोग करना पडा था क्योंकि जैसा आगे बताया जायगा चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी तथा विद्युत चुम्बकीय धारणाओं के उपयोग से तो कोई भी अच्छा फल नहीं निकला। इस समय हम बोह्र के सिद्धांत का अध्ययन किसी आगे के परिच्छेद के लिए स्थगित रखेंगे, क्योंकि इस सिद्धान्त का विशद विवरण केवल क्वांटम सिद्धांत की सहायता से ही दिया जा सकता है।

## ४ विकिरण[6]

हम अभी बता चुके हैं कि आधुनिक भौतिक विज्ञान ने मुख्यत १८७० और १९१० के बीच के काल में द्रव्य तथा विद्युत की संरचना के विषय में हमारे ज्ञान को किस प्रकार प्रवर्धित किया है। उसने हमारे विकिरण-सम्बन्धी ज्ञान की वृद्धि किस प्रकार की है इस विषय में भी अब कुछ शब्द कहना उचित जान पडता है।

प्रकाश विज्ञान और तरंग सिद्धांत के क्षेत्र का विस्तार कुछ नवीन प्रकार की तरंगों के आविष्कार के द्वारा बहुत बढ गया है। इन तरंगों में और साधारण तरंगों में भेद इतना ही है कि इनका तरंग-दैर्घ्य अपेक्षाकृत कुछ बडा या छोटा होता है। शीघ्रकाल तक ये तरंगें अज्ञात रहीं क्योंकि इनका प्रभाव हमारे नेत्र पर कुछ भी नहीं होता। किंतु उनके द्वारा कई भौतिक क्रियाएँ सम्पन्न हो सकती हैं यथा, ऊष्मा की उत्पत्ति फोटो चित्रों का अंकन, वैद्युतिक प्रभाव इत्यादि। इन्हीं के द्वारा भौतिकज्ञों ने इनके अस्तित्व को प्रमाणित किया था। ऐसी तरंगों को जिनका स्वरूप तरंग दैर्घ्य को छोडकर प्रकाश से सर्वथा अभिन्न है 'विकिरण' का व्यापक नाम दिया गया

1 Homologous 2 Frequency displacement 3 Mosley 1913 4 Planetary 5 Rontgen 6 Radiation

ह और ऐसा मालूम पडता ह कि विकिरण के वृहत परिवार में विभिन्न प्रकार के समस्त दृश्य प्रकाश केवल एक छोटे से अश म अधिक नहीं ह ।

पिछले ५० वर्षों में जो आविष्कार हुए ह उनकी कृपा से आज हम ५० किलो मीटर से लेकर एक मिलीमीटर के दस खरववें भाग (१० ' मम०) तक के तरग दर्घ्यों के समस्त विकिरणा से परिचित हो गये हैं। ५० किलोमीटर से $\frac{1}{10}$ मिली मीटर तक तो उन हट जीय तरगा का विस्तार है जो रेडियो में उपयोगी होने के कारण सुविख्यात है। $\frac{1}{10}$ से $\frac{1}{1000}$ मिलीमीटर तक अवरक्त[1] विकिरण होता ह जिसका प्रभाव अत्यत उत्तापक होता ह और $\frac{1}{1000}$ से $\frac{1}{10^4}$ मिलीमीटर तक परा-बैंगनी[2] विकिरण होता है जो प्रबल रासायनिक और फोटोग्राफी क्रियाएँ उत्पन्न करता है। इसके बाद राजन किरणा[3] अथवा एक्स किरणा[4] का विशाल प्रदेश आता ह जो $\frac{1}{100000}$ से प्राय एक मिलीमीटर के दस करोड़वें भाग (१० ' मम०) तक विस्तृत है। और अन्त में इनसे भी छोटे तरग-दर्घ्यवाली वे तरगें ह जो अत्यत वेधनशील[5] गामा किरणा[6] के रूप में स्वोत्मर्जी पदार्थों में से निकलती ह।

यहा इस बात का विस्तृत वणन करने की आवश्यकता नही है कि इतने विशाल और विस्तीण अनुक्रम के विकिरणा का आविष्कार प्रशसनीय प्रयोगा की बहुत लम्बी परम्परा के द्वारा उत्तरोत्तर किस प्रकार हुआ था। जिस बात का उल्लेख आवश्यक ह वह यह है कि जो तरगमयी परिकल्पना दश्य प्रकाश के क्षेत्र में प्रेक्षित तथ्या के द्वारा इतने चमत्कारी ढग से सत्यापित हो चुकी थी, वही इन समस्त विकिरणा के लिए भी उतनी ही सत्य प्रमाणित हुइ। हट जीय तरगा के द्वारा, ऐक्स किरणा के द्वारा, यहा तक कि गामा किरणा के द्वारा भी हम ऐसी घटनाआ का प्रेक्षण करने में समथ हो गये ह जो स्पष्टत तरगधर्मी ह (यथा वतन, व्यतिकरण विवतन, विसरण)। अत आज इस बात में शका करने का कोई कारण नही है कि तरग सिद्धान्त अय समस्त प्रकार के विकिरणा के लिए भी उतना ही तथ्यपूण है जितना कि दश्य प्रकाश के लिए। विभिन्न प्रकार के विकिरणा में भेद केवल तरग-दैर्घ्य का ही है और उनके गुणा में जो अतर दिखाई देता है उसका कारण केवल तरग दघ्य की विभिन्नता ही ह। किन्तु यही यह कह देना भी उचित है कि जिस प्रकार तरगमयी परिकल्पना सभी प्रकार के विकिरणा के लिए समान रूप से उपयोगी ह उसी प्रकार भौतिक विज्ञान के आधुनिक विकास के इतिहास में सभी विकिरणा के सम्बन्ध में इस परिकल्पना की

1 Infra red 2 Ultra violet 3 Rontgen rays 4 X Rays 5 Penetrating 6 γ rays

उपयोगिता सामान रूप से ही सीमित भी प्रमाणित हुई है। हम देखेंगे कि विकिरण के सम्पूर्ण क्षेत्र में फोटान[1] की धारणा के रूप में व्यक्त कणिकामयी परिकल्पना अनिवार्य हो गयी है। और इस अन्तिम बात से यह पूर्णत सिद्ध हो जाता है कि समस्त प्रकार के विकिरणों का भौतिक स्वरूप वास्तव में एक-सा ही है।

विभिन्न विकिरणों के आविष्कार और उनके वर्गीकरण के द्वारा तथा उनके स्वरूप की अभिन्नता के प्रमाणित हो जाने से वैज्ञानिक आज से ४० वर्ष पहले भौतिक जगत में दो सर्वथा भिन्न सत्ताओं का अस्तित्व मानने के लिए विवश हो गये थे। एक तो द्रव्य—जो परमाणुओं से बना है और जिसके परमाणु स्वयं प्रोटानों और इलेक्ट्रानों के अथवा विद्युत की मूल-कणिकाओं के सम्मेलन से बने हैं। दूसरा विकिरण—जिसमें अनेक विभिन्न प्रकार के विकिरण सम्मिलित हैं जिनका स्वरूप बिल्कुल एक-सा है और जिनकी विभिन्नता केवल तरंग-दैर्घ्य के ही कारण होती है। द्रव्य और विकिरण सर्वथा स्वतन्त्र सत्ताएँ तो हैं क्योंकि द्रव्य के अस्तित्व के लिए किसी विकिरण की आवश्यकता नहीं होती और विकिरण का प्रचरण पूर्णत रिक्त आकाश में भी सम्भव है। तथापि जब कभी ये दोनों सत्ताएँ साथ-साथ विद्यमान होती हैं तब इनकी पारस्परिक प्रतिक्रियाएँ क्या होती हैं इस प्रश्न का विवेचन भी भौतिक विज्ञान की एक महत्वपूर्ण समस्या है। विकिरण द्वारा द्रव्य पर तथा द्रव्य द्वारा विकिरण पर होनेवाली क्रियाओं के विश्लेषण का प्रयत्न जरूरी है। यह समझना भी आवश्यक है कि द्रव्य विकिरण का अवशोषण अथवा उत्सर्जन किस प्रकार कर सकता है। आधुनिक भौतिक विज्ञान में जिस सिद्धान्त ने इन प्रश्नों का सम्पूर्ण और विस्तृत उत्तर पाने का प्रयत्न किया है वह है इलैक्ट्रान सिद्धान्त। अब उसी के सम्बन्ध में कुछ शब्द कहना आवश्यक है।

## ५ इलैक्ट्रान-सिद्धान्त[2]

मैक्सवेल के विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त से हमें ऐसे समीकरण प्राप्त हुए थे जो माप्य विद्युत् चुम्बकीय क्षेत्रों से वैद्युत आवेशों के और धाराओं के स्थूल दृष्टिकोणीय सम्बन्ध को यथावत प्रदर्शित कर देते हैं। ये समीकरण स्थूल-जगतीय प्रयोगों के परिणामों को एक ही वैधानिक पद्धति[3] में सघटित करने से प्राप्त हुए थे। अत इस क्षेत्र में इनका मूल्य असंदिग्ध था। किन्तु द्रव्य के अन्तरतम प्रदेशों में और परमाणुओं के अभ्यन्तर में होनेवाली वैद्युत घटनाओं के विस्तृत विवरण के लिए और इन चरम द्रव्य-कणों के द्वारा अवशोषित और उत्सर्जित विकिरण की प्रागुक्ति के लिए भी मैक्सवेल

1 Photon  2 The Electron Theory  3 Formal system

के समीकरणो के बहिर्वेशन[1] की जरूरत हुई और यह आवश्यक हुआ कि उन्हें ऐसा
दिया जाय जो परमाणवीय और कणिकीय स्तर पर होनेवाली घटनाओं के अध्य
के लिए भी उपयुक्त हो सके। यह ऊपर से साधारण दिखाई देनेवाला किन्तु बा
में अत्यन्त साहसिक कार्य एच० ए० लारेन्ज[2] ने किया था जिनकी गिनती आधु
सैद्धान्तिक भौतिकी के महान निर्माताओं में है।

विद्युत की असतत कणिकामय संरचना को विद्युत चुम्बकत्व के समीकरण
निविष्ट करने की धारणा से ही लारेंटज ने इस कार्य का प्रारम्भ किया। उ
विद्युत में सूक्ष्म कणिकाओं का अस्तित्व मान लिया। उन्होंने इन कणिकाओं
सामान्य नाम इलक्ट्रान रख दिया और यह धारणा बनायी कि समस्त द्रव्यों की र
इन्हीं कणिकाओं के सम्मेलनों के द्वारा होती है। जिस वस्तु को हम विद्युत से आवि
कहते हैं उसमें किसी एक चिह्नवाली वैद्युत कणिकाओं की अपेक्षा दूसरे चिह्न
वैद्युत कणिकाओं की संख्या अधिक होती है। और अनाविष्ट[3] वस्तु वह होती
जिसमें दोनों प्रकार की विद्युत की कणिकाओं की संख्या बराबर होती है। इस
स्थूल अनुभूति के स्तर पर समस्त भौतिक वस्तुओं में विद्यमान वैद्युत कणिकाओं की स
संख्या अत्यंत विशाल होती है। इस दृष्टिकोण से किसी चालक[4] में विद्युत धार
प्रवाह का कारण उस चालक में विद्यमान समस्त इलक्ट्रानों का विस्थापन है। अत
इलक्ट्रानों की गति-स्वातंत्र्य ही चालकता का कारण ठहरता है। विपरीत इस
विलगकों[5] के गुण की व्याख्या यह है कि उनमें विद्यमान प्रत्येक इलक्ट्रान का
विशेष सन्तुलन-स्थान होता है और वह उस स्थान से बहुत ही थोड़ा-सा विस्था
हो सकता है। प्रत्येक इलक्ट्रान अपने चारों ओर एक सूक्ष्म विद्युत चुम्बकीय
क्षेत्र की सृष्टि कर लेता है और हम अपने प्रयोगों में जिन बल क्षेत्रों का प्रेक्षण करते
और जिन्हें मापते हैं वे द्रव्य के इन्हीं विभिन्न इलक्ट्रानों के अत्यंत बहु-संख्यक सू
बल क्षेत्रों के अध्यारोपण[6] के सांख्यिकीय[7] परिणाम होते हैं। ये सांख्यिकीय परिण
बहुधा कुछ सरल नियमों का पालन करते हैं और ये नियम मैक्सवैल के सिद्धान्त के
ही नियम हैं जो प्रत्यक्ष प्रेक्षित वैद्युत आवेशों और विद्युत धाराओं से स्थूल बल-क्षेत्रों
सम्बन्ध निर्धारित करते हैं। लारेंटज का सिद्धान्त मैक्सवेल के सिद्धान्त की अपे
अधिक साहसिक है। वह उन सूक्ष्मस्तरीय विद्युत चुम्बकीय घटनाओं का विव

1 Extrapolation 2 H A Lorentz 3 Electrically neutral 4 Con-
ductor 5 Insulators (कुचालक) 6 Super-imposition 7 Statistical

देने का प्रयास करता है जिनके औसत प्रभाव के रूप में व घटनाएँ प्रकट होती है जिनका हमारे प्रयोगो में प्रेक्षण किया जाता है। तब वह प्रत्येक स्थान पर और प्रत्येक क्षण पर विद्युत् चुम्बकीय क्षेत्रो, आवेशो और धाराओ का निर्णीत करने का प्रयास करता है न केवल विविध इलैक्ट्रानो के मध्यवर्ती आकाश में किन्तु इलैक्ट्रानो के अभ्यन्तर में भी। लारैंटज ने यह मान लिया कि सूक्ष्म-स्तरीय राशिया, बल-क्षेत्र, आवेश और धाराएँ भी ऐसे समीकरणो के द्वारा निर्णीत होती हैं जिनका रूप ठीक मक्सवल के स्थूल स्तरीय समीकरणो के समान ही होता है। अन्तर केवल यह होता है कि अब इन समीकरणो के लिए बल क्षेत्रो को उनके अनुगामी प्रेरणा[1] से भिन्न मानना उचित नहीं है और आवेशो और धाराओ को विद्युत् की संरचना[2] के ही फलन[3] के रूप में व्यक्त करना होगा। यह प्रमाणित किया जा सकता है कि मूल सूक्ष्म-स्तरीय घटनाओं का औसत निकालने पर लारैंट्ज के समीकरण मैक्सवैल के समीकरणो में परिणत हो जाते हैं और साथ ही साथ बल-क्षेत्रो और प्रेरणा की विभिन्नता की भी व्याख्या हो जाती है। इस प्रकार मक्सवैल का विद्युत् चुम्बकत्व "स्थूल" विद्युत चुम्बकत्व प्रतीत होने लगता है जो लौरेंट्ज के 'सूक्ष्म' विद्युत् चुम्बकत्व का औसत लेने पर प्राप्त होता है। जिन बातो की रूपरेखा ऊपर बतायी गयी है उनके आधार पर निर्मित इलैक्ट्रान सिद्धान्त को बहुत-सी घटनाओ की प्रागुक्ति करने में महत्त्वपूर्ण सफलताएँ प्राप्त हुई हैं। प्रथम तो वर्ण विक्षेपण[4] के जिन नियमो की व्याख्या कई पूर्ववर्ती सिद्धान्तो के द्वारा हो चुकी थी उनकी व्याख्या इस सिद्धान्त के द्वारा भी हो गयी। इसके बाद निस्सन्देह इसकी सबसे महत्त्वपूर्ण सफलता यह थी कि इसके द्वारा सामान्य जीमान प्रभाव[5] की यथातथ प्रागुक्ति भी सभव हो गयी अर्थात हम यह समझ सके कि सरलतम दशा में परमाणु द्वारा उत्सर्जित स्पैक्ट्रमीय रेखाओ पर समागी चुम्बकीय क्षेत्र का किस प्रकार का प्रभाव पडता है। स्पैक्ट्रमीय रेखाओ की आवृत्ति पर चुम्बकीय क्षेत्र के इस प्रभाव के प्रमाणात्मक आविष्कार से इलैक्ट्रान सिद्धान्त का पूर्ण रूप से सत्यापन हो गया है और आवृत्ति-परिवर्तन के परिमाण को नापकर यह प्रमाणित किया जा सकता है कि जिन गतिशील कणिकाओ का इस स्पैक्ट्रमीय उत्सर्जन से सम्बन्ध है वे ऋण इलैक्ट्रान ही हैं और इस प्रकार द्रव्य के अभ्यन्तर में इन इलैक्ट्रानो का अस्तित्व भी प्रमाणित हो जाता है। इस बात में लारैन्ट्ज के सिद्धान्त को वास्तव में बड़ी सफलता मिली है और इससे सामान्यत उन सब घटनाओ की भी व्याख्या हो गयी है जिनमें किसी वैद्

1 Inductions 2 Structure 3 Function 4 Dispersion 5 Normal Zeeman effect

या चुम्बकीय क्षेत्र के कारण प्रकाश के उत्सजन, प्रचरण और अवशोषण के साधारण प्रतिबन्धो में परिवर्तन हो जाता है। उदाहरण के लिए वृत्त ध्रुवन[1] की चुम्बकीय घटना है (फरडे प्रभाव)[2] जो लोरैंटज के सिद्धान्त की दृष्टि से उत्क्रम[3] जीमान प्रभाव समझा जा सकता है। वैद्युत और चुम्बकीय द्विवर्तन[4] भी ऐसी ही घटनाएँ है। वस्तुत विद्युत प्राकाशिकी[5] तथा चुम्बक प्राकाशिकी[6] के सम्पूर्ण क्षेत्र में लारेन्टज़ के सिद्धान्त ने बहुत बडी सेवाएँ की है। ऐसा भी प्रतीत होने लगा था कि 'द्रव्य में से विकिरण का उत्सजन कैसे होता है?' इस और भी अधिक महत्त्वपूर्ण समस्या का समाधान भी इलक्ट्रान सिद्धान्त से हो जायगा। लोरैंटज के समीकरणो के अनुसार जब इलैक्ट्रान सरल रेखा में अचर वेग से गमन करता है तब उसके साथ-साथ उसका विद्युत-चुम्बकीय बल-क्षेत्र भी ज्यों-का त्यो सतत चलता रहता है। अत इस दशा में पार्श्ववर्ती आकाश में ऊर्जा का उत्सजन नहीं होता। किन्तु यदि इलैक्ट्रान की गति में कुछ त्वरण[7] उत्पन्न हो जाय तो यह प्रमाणित किया जा सकता है कि उसमें से विद्युत् चुम्बकीय उत्सजन होगा और इस प्रकार इलैक्ट्रान की ऊर्जा में प्रतिक्षण जो ह्रास होगा वह उसके त्वरण के वर्ग का अनुपाती होगा। प्रत्यावर्ती धारा[8] असख्य इलक्ट्रानो की आवर्तगति[9] का ही परिणाम है। इसलिए यह तुरत समझ में आ जाता है कि ऐसी विद्युत् धारा से ऊर्जा का उत्सजन क्यो सभव है। इस प्रकार रेडियो के एरियल[10] के समान खुले परिपथ में जो प्रत्यावर्ती धाराएँ प्रवाहित होती है उनसे हर्ट्जीय तरगो के उत्सजन की भी व्याख्या हो जाती है। फलत हर्ट्जीय तरगो के उत्सजन का सिद्धान्त भी हम मैक्सवैल के समीकरणो में पुन प्राप्त हो जाता है। किन्तु अकेले एक इलक्ट्रान की त्वरित गति के कारण जो तरग उत्सर्जित होती है उसका परिकलन करके इलक्ट्रान सिद्धान्त द्रव्य में से विकिरण के उत्सजन का एक सूक्ष्म स्तरीय प्रतिरूप प्रस्तुत कर देता है। अत सिद्धान्तत यह समझना भी सभव हो जाना चाहिए कि परमाणवीय स्तर पर विद्युत्-चुम्बकीय तरगें कैसे उत्पन्न होती है। उदाहरण के लिए यह प्रमाणित करना भी सभव होना चाहिए कि किसी भी परमाणु में से उत्सर्जित स्पेक्ट्रम उसी परमाणु में विद्यमान इलक्ट्रानो की गति का परिणाम होता है। अभी क्षण भर में हम देखेंगे कि इस योजना के सफल होने में क्या-क्या कठिनाइयाँ उपस्थित हुई थीं। किन्तु प्रारम्भ में तो ऐसा ही जान पडा कि इस 'त्वरण जनित तरग' के सिद्धान्त के द्वारा

1 Circular polarization 2 Faraday effect 3 Inverse 4 Bi refringence
5 Electro optics 6 Magneto optics 7 Acceleration 8 Alternating current
9 Periodic motion 10 Antenna

द्रव्य में स विकिरण के उत्सजन की समस्या का पूर्ण रूप से स्पष्टीकरण हो जाता। और इस मत के पक्ष में यह प्रमाण भी बड़ा प्रबल प्रतीत हुआ कि ऐक्स किरणें तभी प्रकट होती हैं जब किसी ठोस प्रतिकैथोड[1] से टक्कर खाकर कोई इलेक्ट्रान जल्दी से रुक जाता है।

किन्तु इलेक्ट्रान सिद्धान्त का ऐसा चमत्कारिक प्रारम्भ होने पर भी वह द्रव्य के परमाणु-स्तरीय गुणों का कारण निश्चित करने के लिए पर्याप्त प्रमाणित नहीं हुआ। हम देखेंगे कि लारैटज़ के समीकरणो के द्वारा द्रव्य और विकिरण के ऊष्मा-गतिकीय[2] सन्तुलन के अध्ययन में ऐसी कठिनाइयाँ उत्पन्न हुई थी जिनका निराकरण केवल क्वाटम सिद्धान्त की बिल्कुल नयी धारणाओ के सन्निवेशन के द्वारा ही सभव हुआ था। इसके अतिरिक्त यदि हम परमाणुओ के विकिरण का कारण उनके आभ्यन्तरिक इलेक्ट्रानो को ही मानने का प्रयास करें तो यह भी स्वीकार करना पडेगा कि प्रकृत अवस्था में परमाणु के भीतर के इलेक्ट्रान गतिविहीन होते हैं। अन्यथा यदि वे परमाणु के अन्तर्गत अत्यन्त छोटे-से प्रदेश में गमन करने के लिए बाध्य हो तो यह आवश्यक होगा कि उनकी गति मे अत्यधिक त्वरण भी विद्यमान हो और तब वे विकिरण के रूप में निरन्तर ऊर्जा का उत्सजन भी करते रहेंगे। किन्तु यह बात तो परमाणु के स्थायित्व की धारणा के ही विपरीत है। हम पहले ही देख चुके हैं कि हमारे परमाणु-सम्बन्धी ज्ञान की प्रगति से हमें परमाणु सरचना के लिए ऐसे ग्रहीय[3] प्रतिरूप को स्वीकार करना पड़ा है जिसमें ग्रह-स्थानीय इलैक्ट्रान निरन्तर दौडते ही रहते है। अत परमाणु की स्थायी अवस्था के अस्तित्व में और त्वरण जनित तरग के सिद्धान्त में प्रत्यक्ष ही घोर विपर्यय है। इस समस्या का निराकरण भी (बोह्र के सिद्धान्त में) क्वाटम धारणाओ के सन्निवेशन से ही हो सका है।

इस प्रकार इन थोडे से उदाहरणो से, जिनकी सख्या और भी बढायी जा सकती है हम देख सकते है कि विद्युत की असतत सरचना का सहारा लेकर लोरैटज़ ने जिस विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त को पल्लवित किया और परिपूर्ण बनाया वह बहुत-सी घटनाओ की व्याख्या करने मे तो विलक्षण रूप से समर्थ हुआ, किन्तु मूल चिरप्रतिष्ठित मान्यताओ से सर्वथा भिन्न प्रकार की नवीन धारणाओ की सहायता के बिना पारमाणविक क्षेत्र मे प्रायोगिक तथ्यो को समझने की असभवता ने उसके सामने एक अलघ्य दीवार खडी कर दी।

1 Anti-cathode 2 Thermo dynamic 3 Planetary

# चौथा परिच्छेद

## आपेक्षिकता का सिद्धान्त[1]

### १ आपेक्षिकता का नियम[2]

आपेक्षिकता के सिद्धान्त के विषय में कम से कम एक छोटा सा परिच्छेद लिखे बिना क्वाटम-सम्बन्धी ज्ञान के विकास का अध्ययन प्रारम्भ करना असभव है। आपेक्षिकता और क्वाटम ये दोनो ही आधुनिक सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान के स्तम्भ है और यद्यपि इस पुस्तक में हम अपना ध्यान मुख्यत द्वितीय स्तम्भ पर ही केन्द्रित करना चाहते है फिर भी प्रथम के विषय में सर्वथा मौन भी नही रह सकते।

आपेक्षिकता सिद्धान्त के विकास का प्रारम्भ गतिशील माध्यमो से सम्बन्धित प्रकाश वैज्ञानिक तथ्यो के अध्ययन से हुआ था। हम देख चुके है कि फ्रनेल की प्रकाश सम्बन्धी धारणा में ऐसे ईथर का अस्तित्व माना गया था जो सम्पूर्ण ब्रह्माड मे व्याप्त है और समस्त वस्तुओ के अभ्यन्तर मे भी भरा हुआ है तथा जो प्रकाश-तरगो के लिए वाहन का कार्य करता है। मैक्सवैल के सिद्धान्त ने इस ईथर के महत्त्व को कुछ कम कर दिया था क्योंकि इस सिद्धान्त में यह आवश्यक नही रह गया था कि प्रकाश-तरग को किसी विशेष द्रव्य का कम्पन समझा जाय। उसमे यह मान लिया गया था कि प्रकाश-तरग विद्युत-चुम्बकीय दिष्ट राशियो[3] के द्वारा अविकल्पत निर्णीत हो सकती है। विद्युत चुम्बकीय नियमो का यान्त्रिक आधार खोजने के जितने भी प्रयत्न किये गये उनमे कोई भी सतोषजनक फल प्राप्त नही हुआ। इस कारण अन्त में मैक्सवेल के सिद्धान्त के बल-क्षेत्रो को ही ऐसी प्राथमिक अथवा मूल सत्ताए समझ लिया गया जिनको यान्त्रिक प्रतिरूपो के द्वारा स्पष्टीकरण करने का प्रयत्न व्यर्थ समझा गया। इसके पश्चात विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त के लिए किसी कम्पनशील प्रत्यास्थ[4] ईथर की आवश्यकता नही रह गयी और ऐसा मालूम होने लगा कि मैक्सवेल के उत्तरा-

1 Theory of Relativity 2 The Principle of Relativity 3 Vector quantities 4 Elastic

धिकारियों के लिए ईथर की धारणा निष्प्रयोजन हो गयी है। किन्तु वास्तव में ऐसा नहीं हुआ और मैक्सवेल के बाद के वैज्ञानिकों को, विशेषत लारेंटज को उसका स्मरण करते रहना पड़ा। ऐसा क्या हुआ ? इसका कारण यह था कि मैक्सवेल के विद्युत चुम्बकीय समीकरण यान्त्रिक आपेक्षिकता[1] के सिद्धान्त से मान सिद्ध नहीं हुए। अर्थात् यदि व किसी एक निर्देशाक्ष-तत्र[2] की अपेक्षा सत्य हो तो वे किसी ऐसे दूसरे निर्देशाक्ष तत्र की अपेक्षा सत्य नहीं रहते जिसमें पहले तत्र की अपेक्षा सरल रेखात्मक और अचर वेगवाली गति विद्यमान हो—कम से कम उस अवस्था में जब कि यह मान लिया जाय कि प्रथम तत्र से द्वितीय में पहुँचने के लिए निर्देशाको का रूपान्तरण[3] उन्ही नियमो के अनुसार किया जायगा जिनके अनुसार चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी में सदा से होता आया है। चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी में तो वस्तुत ऐसे निरपेक्ष काल की सत्ता को मान लिया गया था जो सभी प्रेक्षकों के लिए और समस्त निर्देशाक्ष-तत्रो के लिए समान रूप से सत्य हो। इसके अतिरिक्त यह भी मान लिया गया था कि दो बिन्दुओं के बीच की आकाशीय दूरी (दिगंतराल) की भी उतनी ही निरपेक्ष सत्ता है और उन बिन्दुओं का स्थान निर्णीत करने के लिए जितने भी निर्देशाक्ष-तत्र सभव हो उन सब में उस दूरी का मान बराबर ही रहता है। इन्ही दोनो नियमो के द्वारा जिनका स्वीकार करना इतना स्वाभाविक जान पड़ता है वे सरल और चिरप्रतिष्ठित सूत्र तुरन्त प्राप्त हो गये जिनकी सहायता से एक निर्देशाक्ष तत्र से चलकर उसकी अपेक्षा अचर वेग से सरल रेखा पर स्थानान्तरित होनेवाले दूसरे तत्र में पहुँचने के लिए निर्देशाको का रूपान्तरण किया जाता है। गलीलीय रूपान्तरण इन्ही सूत्रो के द्वारा निर्दिष्ट होता है। चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी का यह एक मूल प्रमेय है कि यान्त्रिकीय समीकरण गलीलीय रूपान्तरण के प्रति निश्चर[4] रहते हैं। यदि एक निर्देशाक्ष-तत्र से दूसरे निर्देशाक्ष-तत्र में सक्रमण करने के लिए गलीलीय रूपान्तरण की सत्यता मान ली जाय तो न्यूटन के जो समीकरण अचल नक्षत्र-समूह से निबद्ध निर्देशाक्ष-तत्र में सत्य है वे अन्य किसी ऐसे निर्देशाक्ष-तत्र में भी सत्य रहेगे जो अचल नक्षत्रो की अपेक्षा सरल रेखा में अचर वेग से स्थानान्तरित हो रहा हो। विपरीत इसके, मैक्सवल और लारेंटज के समीकरण जिनका रूप चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के समीकरणो से बहुत भिन्न होता है गलीलीय रूपान्तरण की अपेक्षा निश्चर नहीं रहते। इससे यही परिणाम निकलता है कि यदि मैक्सवैल के समीकरण किसी विशेष निर्देशाक्ष

1 Mechanical relativity 2 System of Coordinates 3 Transformation
4 Invariant

तन्त्र की अपेक्षा सत्य हो तो वे उनकी अपेक्षा अचर वेग से सरल रेखा में गमन करने वाले दूसरे निर्देशाक्ष-तन्त्र की अपेक्षा सत्य नहीं रहते। अत सब काम इस प्रकार होता है मानो जगत में कोई खास निर्देश माध्यम[1] विद्यमान है और केवल इसी माध्यम में अवस्थित निर्देशाक्ष-तन्त्र की अपेक्षा ही विद्युत चुम्बकीय समीकरण सत्य होते है। मैक्सवैल के उत्तराधिकारियों ने इसी निर्देश माध्यम का नाम ईथर रख दिया था। उनके लिए ईथर वह प्रत्यास्थ माध्यम नहीं था जिसमें थोडा-सा द्रव्यत्व भी माना जाता था और जिसमें प्रकाश-तरंगों का प्रचरण करने की सामर्थ्य थी। वह तो अब एक नि सत्त्व और सांकेतिक माध्यम के अतिरिक्त और कुछ भी नहीं रह गया था जिसका काम केवल इतना ही था कि ऐसे निर्देशाक्ष-तन्त्र को छाँटकर अलग कर दे जिसकी अपेक्षा मैक्सवल-समीकरण यथार्थ समझे जा सकें।*

हम देख चुके है कि इस सीमित भूमिका में भी ईथर की धारणा काफी कष्टदायक प्रमाणित हुई है। मैक्सवल सिद्धान्त के अनुसार प्रकाश की प्रेक्षित घटनाओं पर प्रेक्षक की ईथर-सापेक्ष गति का सचमुच ही कुछ प्रभाव पड़ना चाहिए। और भौतिकज्ञ के लिए यह संभव होना चाहिए कि प्रकाश प्रचरण सम्बन्धी प्रेक्षणों के द्वारा वह यह मालूम कर सके कि ईथर की अपेक्षा उसका (प्रेक्षक का) अपना वेग कितना है। यदि ऐसा हो सके तो इस रहस्यमय सत्ता का अवश्य ही थोडा-बहुत द्रव्यत्व प्राप्त हो जायगा। यथार्थता के लिए यह मानना ही पडेगा कि जो पार्थिव भौतिकज्ञ अपनी प्रयोगशाला में बैठकर प्रयोग करता है वह पृथ्वी के साथ-साथ बडे वेग से सूर्य की परिक्रमा करता रहता है और पृथ्वी की यह गति लगभग वृत्ताकार होने के कारण उसके वेग की दिशा भी प्राय छ महीनों के बाद बिल्कुल उलट जाती है। अत यदि किसी दुर्भाग्य दैवयोग से किसी समय उसे यह मालूम पडे कि वह ईथर की अपेक्षा अचल है तो कुछ ही सप्ताहों या महीनों के बाद वह अवश्य ही ईथर की अपेक्षा तीव्र वेग से चलने लगेगा। अत वर्ष भर में विभिन्न समयों पर कई प्रयोग करके पृथ्वी की ईथर सापेक्ष गति का पता लगा लेना अवश्य ही संभव होना चाहिए। किन्तु १९ वीं शताब्दी के वैज्ञानिकों ने

[1] Medium of reference

* यहाँ यह कहना उचित जान पड़ता है कि हाल में ही डिरैक (Dirac) की [illegible] गतिकी (Electro-dynamics) के क्वांटम सिद्धान्त के सम्बन्ध में ईथर की धारणा [illegible] आवश्यकता प्रतीत हुई है। उनके मत में आकाश और काल के प्रत्येक बिन्दु [illegible] अथवा विद्युत के आवेश का अभाव होने पर भी एक आनुषंगिक वेग होता है [illegible] को किसी वास्तविक भौतिक वस्तु (ईथर) का वेग ही समझना चाहिए।—[illegible]

जितने भी प्रकाशीय प्रयोग किये उनमें से किसी के द्वारा भी पृथ्वी की ईथर-सापेक्ष गति के प्रभाव का पता नहीं चल सका, यद्यपि ये प्रयोग बहुत ही विभिन्न प्रकार के थे और अत्यन्त यथार्थतापूर्ण रीति से किये गये थे। फिर भी दीर्घकाल तक यह असफलता चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्तों से असंगत नहीं समझी गयी क्योंकि इन सिद्धान्तों के अनुसार जिन प्रभावों के प्रेक्षण की आशा की जा सकती थी वे असाधारणतः सूक्ष्म थे और अत्यन्त यथार्थतापूर्ण प्रयोगों से जिन प्रभावों का प्रेक्षण संभव हो सकता था उनसे भी अत्यन्त स्वल्प थे। वस्तुतः यह प्रमाणित किया जा सकता है कि प्रेक्षक की ईथर-सापेक्ष गति के कारण जो प्रभाव संभव हों वे प्रेक्षक के ईथर-सापेक्ष वेग और प्रकाश के शून्याकाश में वेग के अनुपात के वर्ग के अनुपाती होते हैं। इस अनुपात के सदैव अत्यन्त छोटे होने के कारण अपेक्षित प्रभाव भी अत्यन्त दुर्बल होते हैं। किन्तु प्रायोगिक कौशल की अनवरत प्रगति का परिणाम यह हुआ कि वह समय भी आ गया जब कि व्यतिकरण के प्रयोगों के द्वारा प्रयोगकर्त्ताओं ने उस कोटि की सूक्ष्म राशियों के प्रेक्षण की क्षमता भी प्राप्त कर ली जिस कोटि के सूक्ष्म प्रभाव सिद्धान्त के अनुसार प्रेक्षक की ईथर-सापेक्ष गति के कारण संभव समझे जा सकते हैं। तिस पर भी प्रयोग का परिणाम नकारात्मक ही निकला और जिन सिद्धान्तों के अनुसार प्रागुक्त प्रभावों को निस्सन्देह बहुत छोटे होने पर भी अब नाप लेना संभव हो गया था उनका कुछ भी पता न चल सका। ईथर अब भी अलक्षित ही बना रहा और अब तो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त से घोर विपर्यय स्पष्ट ही हो गया। यही वह दूरगामी परिणाम था जो १८८१ में माइकेल्सन[1] के सुविख्यात प्रयोग से और कुछ समय बाद इसी की माइकेल्सन और मार्ले[2] द्वारा की गयी पुनरावृत्ति के द्वारा निकला था। और वे दूसरे प्रयोग भी माइकेल्सन के प्रयोग के समान ही असफल रहे जिनसे प्रकाशीय प्रभावों के स्थान में विद्युत् चुम्बकीय प्रभावों के द्वारा पृथ्वी की ईथर-सापेक्ष गति का पता लग जाना चाहिए था (यथा ट्राउटन और नोबल[3] का प्रयोग)।

स्वभावतः ही माइकेल्सन के प्रयोग के नकारात्मक परिणाम के साथ प्रचलित सिद्धान्तों का सामंजस्य स्थापित करने के अनेक प्रयत्न किये गये। विशेषतः फिट्ज़जिरल्ड और लोरेन्ट्ज़[4] ने यह धारणा प्रस्तुत की कि जब भौतिक वस्तुएँ ईथर में गमन करती हैं तो उनका कुछ आकुंचन[5] हो जाता है जिससे गमन की दिशा में तो उनकी लम्बाई घट जाती है किन्तु उससे अनुप्रस्थ दिशा की लम्बाई अपरिवर्तित रहती है और इस

1 Michelson 2 Michelson and Morley 3 Trouton and Noble 4 Fitzgerald and Lorentz 5 Contraction

आकुंचन का ही यह परिणाम होता है कि उस गति के कारण प्रकाश प्रचरण पर जो प्रभाव पड़ना चाहिए था उसका बिल्कुल पूरी तरह प्रतीकार[1] हो जाता है। किन्तु प्रत्यक्ष है कि यह चतुर परिकल्पना पूर्णत कृत्रिम थी और असफलता को टकने के ही लिए बनायी हुई मालूम देती थी। यह विदित है कि १९०५ में अल्बर्ट आइन्स्टाइन[2] के प्रशंसनीय बौद्धिक प्रयास के द्वारा ही इस समस्या का यथार्थ समाधान प्राप्त हुआ था।

'प्रकाशीय अथवा विद्युत चुम्बकीय प्रयोगों के द्वारा किसी प्र तत्र की इ थर-सापेक्ष अचर वेगवाली गति के प्रेक्षण की संभावना मैक्सवेल और लारेंटज के सिद्धान्त में निहित है।" इस धारणा का मूल कारण यह था कि यह बात पहले से ही मान ली गयी थी कि जब एक निर्देशाक्ष-तन्त्र से दूसरे ऐसे तन्त्र में सक्रमण किया जाता है जिसमें पहले तन्त्र की अपेक्षा अचर वेगवाली सरल रेखात्मक गति हो तब दोनों तन्त्रों के निर्देशाक गलीलीय रूपान्तरण के सूत्रों के द्वारा परस्पर सम्बद्ध रहते है। मैक्सवेल-लारेंटज समीकरण गलीलीय रूपान्तरण के प्रति निश्चर नहीं रहते और हम देख चुके है कि इसी कारण पृथ्वी की इथर सापेक्ष गति के प्रेक्षण की सभावना उत्पन्न होती है। किन्तु प्रायोगिक तथ्यो के द्वारा इसका सत्यापन नही हुआ। परन्तु विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणो के गणितीय अध्ययन के द्वारा लारेंटज ने देखा कि यद्यपि ये समीकरण गलीलीय रूपान्तरण के प्रति निश्चर नही रहते तथापि गलीलीय रूपान्तरण से कुछ अधिक जटिल एक और रखिक[3] रूपान्तरण है जिसमें ये समीकरण अविचल रहते हैं। यह आजकल लारेंटज रूपान्तरण कहलाता है। प्रारम्भ मे तो यह केवल गणितीय कौतुक मात्र ही दिखाई दिया और ऐसा नही जान पड़ा कि लारेंटज रूपान्तरण का कोई स्पष्ट भौतिक अर्थ भी हो सकता है। किन्तु आइन्स्टाइन की प्रतिभापूर्ण धारणा का एक पक्ष यह भी था कि उन्होंने यह मान लिया कि अन्योन्य-सापेक्ष अचर-वेगीय स्थानान्तरण की गतिवाले दो प्रेक्षक जिन निर्देशाकों का उपयोग करते है उनमें सचमुच ही कुछ भौतिक सम्बन्ध होता है और लारेंटज रूपान्तरण इसी भौतिक सम्बन्ध का यथार्थ निरूपण करता है (कम से कम उस अवस्था में जब दोनों ही प्रेक्षकों का स्थानान्तरण अचल नक्षत्र समुदाय की अपेक्षा अचर वेगीय हो)। अत इस प्रसग में गलीलीय रूपान्तरण के स्थान में लारेंटज रूपान्तरण ही भौतिक दृष्टि से यथार्थ हो सकता है। और विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणो के लारेंटज रूपान्तरण के प्रति निश्चर होने के कारण यह भी परिणाम निकलता है कि अन्योन्य-सापेक्ष अचर वेगवाले दो

1 Compensation 2 Albert Einstein 3 Linear

जितने भी प्रकाशीय प्रयोग किये उनमें न किसी के द्वारा भी पृथ्वी की ईथर-सापेक्ष गति के प्रभाव का पता नहीं चल सका, यद्यपि ये प्रयोग बहुत ही विभिन्न प्रकार के थे और अत्यन्त यथार्थतापूर्ण रीति से किये गये थे। फिर भी दीर्घकाल तक यह असफलता चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्तों से असंगत नहीं समझी गयी क्योंकि इन सिद्धान्तों के अनुसार जिन प्रभावों के प्रेक्षण की आशा की जा सकती थी वे असाधारणतः सूक्ष्म थे और अत्यन्त यथार्थतापूर्ण प्रयोगों से जिन प्रभावों का प्रेक्षण संभव हो सकता था उनसे भी अधिक स्वल्प थे। वस्तुतः यह प्रमाणित किया जा सकता है कि प्रेक्षक की ईथर-सापेक्ष गति के कारण जो प्रभाव संभव हो वे प्रेक्षक के ईथर-सापेक्ष वेग और प्रकाश के शून्याकाशीय वेग के अनुपात के वर्ग के अनुपाती होते हैं। इस अनुपात के सदैव अत्यन्त छोटे होने के कारण अपेक्षित प्रभाव भी अत्यन्त दुर्बल होते हैं। किन्तु प्रायोगिक कौशल की अनवरत प्रगति का परिणाम यह हुआ कि वह समय भी आ गया जब कि व्यतिकरण के प्रयोगों के द्वारा प्रयोगकर्त्ताओं ने उस कोटि की सूक्ष्म राशियों के प्रेक्षण की क्षमता भी प्राप्त कर ली जिस कोटि के सूक्ष्म प्रभाव सिद्धान्त के अनुसार प्रेक्षक की ईथर-सापेक्ष गति के कारण संभव समझे जा सकते हैं। तिस पर भी प्रयोग का परिणाम नकारात्मक ही निकला और जिन सिद्धान्तों के अनुसार प्रागुक्त प्रभावों को निस्सन्देह बहुत छोटे होने पर भी अब नाप लेना संभव हो गया था उनका कुछ भी पता न चल सका। ईथर अब भी अलक्षित ही बना रहा और अब तो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त से घोर विपर्यय स्पष्ट ही हो गया। यही वह दूरगामी परिणाम था जो १८८१ में माइकेल्सन[1] के सुविख्यात प्रयोग से और कुछ समय बाद इसी की माइकेल्सन और मारले[2] द्वारा की गयी पुनरावृत्ति के द्वारा निकला था। और वे दूसरे प्रयोग भी माइकेल्सन के प्रयोग के समान ही असफल रहे जिनमें प्रकाशीय प्रभावों के स्थान में विद्युत् चुम्बकीय प्रभावों के द्वारा पृथ्वी की ईथर-सापेक्ष गति का पता लग जाना चाहिए था (यथा ट्राउटन और नाबल[3] का प्रयोग)।

स्वभावतः ही माइकेल्सन के प्रयोग के नकारात्मक परिणाम के साथ प्रचलित सिद्धान्तों का सामंजस्य स्थापित करने के अनेक प्रयत्न किये गये। विशेषतः फिट्जजिरल्ड[4] और लोरैन्ट्ज ने यह धारणा प्रस्तुत की कि जब भौतिक वस्तुएँ ईथर में गमन करती हैं तो उनका कुछ आकुंचन[5] हो जाता है जिससे गमन की दिशा में तो उनकी लम्बाई घट जाती है किन्तु उससे अनुप्रस्थ दिशा की लम्बाई अपरिवर्तित रहती है और इस

1 Michelson 2 Michelson and Morley 3 Trouton and Noble 4 Fitzgerald and Lorentz 5 Contraction

आकुंचन का ही यह परिणाम होता है कि उस गति के कारण प्रकाश प्रचरण पर जो प्रभाव पड़ना चाहिए था उसका बिल्कुल पूरी तरह प्रतीकार[1] हो जाता है। किन्तु प्रत्यक्ष है कि यह चतुर परिकल्पना पूर्णत कृत्रिम थी और असफलता को ढकने के ही लिए बनायी हुई मालूम देती थी। यह विदित है कि १९०५ में ऐल्बर्ट आइन्स्टाइन[2] के प्रशंसनीय बौद्धिक प्रयास के द्वारा ही इस समस्या का यथार्थ समाधान प्राप्त हुआ था।

'प्रकाशीय अथवा विद्युत चुम्बकीय प्रयोगों के द्वारा किसी प्रेक्षक और ईथर-सापेक्ष अचर वेगवाली गति के प्रेक्षण की संभावना मैक्सवेल और लारेंटज के सिद्धान्त में निहित है।" इस धारणा का मूल कारण यह था कि यह बात पहले से ही मान ली गयी थी कि जब एक निर्देशांक-तन्त्र से दूसरे ऐसे तन्त्र में संक्रमण किया जाता है जिसमें पहले तन्त्र की अपेक्षा अचर वेगवाली सरल रेखात्मक गति हो तब दोनों तन्त्रों के निर्देशांक गैलीलीय रूपान्तरण के सूत्रों के द्वारा परस्पर सम्बद्ध रहते हैं। मैक्सवैल-लारेंटज समीकरण गैलीलीय रूपान्तरण के प्रति निश्चर नहीं रहते और हम देख चुके हैं कि इसी कारण पृथ्वी की ईथर-सापेक्ष गति के प्रेक्षण की संभावना उत्पन्न होती है। किन्तु प्रायोगिक तथ्यों के द्वारा इसका सत्यापन नहीं हुआ। परन्तु विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणों के गणितीय अध्ययन के द्वारा लारेंटज ने देखा कि यद्यपि ये समीकरण गैलीलीय रूपान्तरण के प्रति निश्चर नहीं रहते तथापि गैलीलीय रूपान्तरण से कुछ अधिक जटिल एक और रैखिक[3] रूपान्तरण है जिसमें ये समीकरण अविचल रहते हैं। यह आजकल लारेंटज रूपान्तरण कहलाता है। प्रारम्भ में तो यह केवल गणितीय कौतुक मात्र ही दिखाई दिया और ऐसा नहीं जान पड़ा कि लारेंटज रूपान्तरण का कोई स्पष्ट भौतिक अर्थ भी हो सकता है। किन्तु आइन्स्टाइन की प्रतिभापूर्ण धारणा का एक पक्ष यह भी था कि उन्होंने यह मान लिया कि अन्योन्य-सापेक्ष अचर वेगीय स्थानान्तरण की गतिवाले दो प्रेक्षक जिन निर्देशांकों का उपयोग करते हैं उनमें सचमुच ही कुछ भौतिक सम्बन्ध होता है और लारेंटज रूपान्तरण इसी भौतिक सम्बन्ध का यथार्थ निरूपण करता है (कम से कम उस अवस्था में जब दोनों ही प्रेक्षकों का स्थानान्तरण अचल नक्षत्र समुदाय की अपेक्षा अचर-वेगीय हो)। अत इस प्रसंग में गैलीलीय रूपान्तरण के स्थान में लारेंटज रूपान्तरण ही भौतिक दृष्टि से यथार्थ हो सकता है। और विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणों के लारेंटज रूपान्तरण के प्रति निश्चर होने के कारण यह भी परिणाम निकलता है कि अन्योन्य-सापेक्ष अचर वेगवाले दो

1 Compensation 2 Albert Einstein 3 Linear

प्रेक्षकों के लिए इन समीकरणों का रूप बिलकुल एक-सा ही होता है। अतः उन दोनों प्रेक्षकों को समस्त प्रकाशीय और विद्युत चुम्बकीय घटनाएँ भी बिलकुल एक-सी ही मालूम होंगी और यह असंभव होगा कि किसी भी घटना से कोई भी प्रेक्षक अपना ईथर-सापेक्ष गति का पता लगा सके। फलतः माइकेल्सन के प्रयोग तथा ईथर-सापेक्ष पृथ्वी के वेग को मापने के अन्य प्रयोगों का नकारात्मक परिणाम पूर्णतः स्वाभाविक हो जाता है। विपरीततः यदि समस्त प्रकाशीय और विद्युत चुम्बकीय घटनाओं की "आपेक्षिकता" मूल सिद्धांत के रूप में उसी प्रकार स्वीकार कर ली जाय जिस प्रकार चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी में यांत्रिक घटनाओं की आपेक्षिकता स्वीकार कर ली गयी थी, तब यह भी स्वीकार करना आवश्यक हो जाता है कि अन्योन्य-सापेक्ष सरल रेखात्मक अचर वेग वाले दो प्रेक्षकों के निर्देशांकों का सम्बन्ध लोरैंट्ज-रूपान्तरण के द्वारा ही व्यक्त हो सकता है, न कि गलीलीय रूपान्तरण के द्वारा।

गलीलीय रूपान्तरण के स्थान में लोरैंट्ज रूपान्तरण को स्थापित करने की आवश्यकता के कारणों और उसके भौतिक परिणामों का विवेचन अत्यन्त आवश्यक है। आकाश और काल की धारणाओं के गहन आलोचनात्मक अध्ययन के द्वारा आइन्स्टाइन ने यह विवेचन किया था। यह विवेचन जरूरी या हो गया था कि लोरैंट्ज-रूपान्तरण को स्वीकार करने से कुछ ऐसे परिणाम अनिवार्य हो गये जिन्हें हम न्यायतः विरुद्धाभासी[1] समझ सकते थे। इस रूपान्तरण में एक तो यह बात निहित है कि निरपेक्ष काल का अस्तित्व है ही नहीं अर्थात् सापेक्ष गतिवाले दो प्रेक्षकों द्वारा निर्णीत समय अथवा कालान्तराल बराबर नहीं होते। और दूसरी बात यह भी निहित है कि दो दृश्य बिन्दुओं के बीच की दूरी का मान या दिगन्तराल भी निरपेक्ष नहीं होता अर्थात् उन दो प्रेक्षकों के लिए बराबर नहीं होता। यदि समय और दूरी की निरपेक्षता को हम स्वतःसिद्ध मान लें तो अनिवार्यतः हमें गलीलीय रूपान्तरण भी स्वीकार करने पड़ेंगे। विपरीततः लोरैंट्ज रूपान्तरण को स्वीकार करने का यह अर्थ होगा कि अत्यन्त स्वाभाविक जान पड़नेवाली इन स्वतःसिद्ध मान्यताओं को छोड़ देना पड़ेगा। इस कठिनाई को दूर करने के लिए आइन्स्टाइन ने आलोचनात्मक विश्लेषण करके ऐसे उपाय प्रस्तुत किये हैं जिनसे कालान्तराल और दिगन्तराल का प्रयोग के द्वारा निर्णीत किया जा सके। इस विश्लेषण में उन्होंने यह मूल-परिकल्पना बनायी कि ऊर्जा का अथवा किसी भी प्रकार के संकेत[2] का स्थानान्तरण प्रकाश के न्यायकाशीय वेग की अपेक्षा

1 Paradoxical 2 Signal

की विभिन्न घडिया के प्रेक्षित समय विभिन्न निकलेंगे। और क तथा ख-तन्त्रों की सभी बातें अन्योन्यानुवर्ती[1] होने के कारण ख-तन्त्र के किसी विशेष तन्त्र क्षण पर क-तन्त्र से सम्बन्धित प्रेक्षक द्वारा प्रेक्षित क की घडिया के समय भी विभिन्न निकलेंगे। आपेक्षिकता के सिद्धान्त में यौगपद्य[2] का अस्तित्व ऐसे निरपेक्ष अर्थ में है ही नहीं जो समस्त अन्योन्य-सापेक्ष गतिशील विभिन्न तन्त्रों के लिए ठीक समझा जा सके। और आइन्स्टाइन ने अच्छी तरह प्रमाणित कर दिया है कि यह विरोधाभासी तथ्य प्रकाश के शून्याकाशीय वेग की अपेक्षा तीव्रतर वेगवाले संकेतों से सम्बन्ध की असंभवता का ही परिणाम है।

इस प्रकार लोरेंट्ज रूपान्तरण की भौतिक व्याख्या के प्रयास में आइन्स्टाइन ने सिद्ध कर दिया है कि यदि कोई भौतिक वस्तु किसी प्रेक्षक का चलती हुई दिखाई देती हो तो उसे गति की दिशा में उस वस्तु की लम्बाई उस वस्तु के सहगामी किसी अन्य प्रेक्षक द्वारा नापी हुई लम्बाई की अपेक्षा छोटी मालूम पड़ेगी। दूसरे शब्दों में मान लीजिए कि दो प्रेक्षक ऐसे हैं जो किसी दिशा द में अन्योन्य-सापेक्ष सरल रेखा में अचर वेग से चल रहे हैं और मान लीजिए कि इनमें से एक प्रेक्षक के पास एक छड़ है जिसको इस प्रकार रखा गया है कि उसकी लम्बाई गति की दिशा में हो और उस प्रेक्षक के नाप के अनुसार यह लम्बाई एक मीटर है तो दूसरे प्रेक्षक के नाप में वह छड़ एक मीटर से कम लम्बी निकलेगी और उन प्रेक्षकों का आपेक्षिक वेग जितना ही अधिक तीव्र होगा उतना ही लम्बाई का यह अन्तर भी अधिक निकलेगा। किन्तु दूसरे प्रेक्षक की अपेक्षा छड़ के इस आकुंचन का परिमाण साधारणत अत्यन्त ही छोटा होता है और केवल उसी दशा में प्रेक्षणगम्य होता है जब उनका आपेक्षिक वेग प्रकाश के शून्याकाशीय वेग के नजदीक पहुँच जाता है। यही कारण है कि प्रयोग के द्वारा इस आकुंचन के अस्तित्व का प्रत्यक्ष प्रमाण नहीं मिल सकता। किन्तु यह आकुंचन जो व्यवहारत सदैव स्वल्प ही होता है ठीक उस आकुंचन के बराबर परिमाण का होता है जिसकी फिट्जजिरल्ड और लॉरेंट्ज ने कल्पना की थी और जो माइकेल्सन के प्रयोग के द्वारा नकारात्मक परिणाम की व्याख्या के लिए पर्याप्त समझा गया था। फिर भी फिट्जजिरल्ड-लॉरेंट्ज के आकुंचन में और आइन्स्टाइन के मतानुसार लोरेंट्ज रूपान्तरण से उत्पन्न आकुंचन में तात्त्विक भेद है। पहला तो वस्तुत ईथर में निरपेक्ष गति के द्वारा उत्पन्न वास्तविक[3] आकुंचन माना गया था, किन्तु दूसरा तो द्वितीय प्रेक्षक द्वारा अनुभूत केवल आभासी[4]

1 Reciprocal 2 Simultaneity 3 Real 4 Apparent

आकुचन ह। उसकी अविकल्प व्युत्पत्ति का कारण वह निधि ह जिसके अनुसार विभिन्न प्रेक्षक कालान्तराला और दिगन्तराला का नाप करते ह और वह लारेटज रूपान्तरण ह जो उन दोना प्रेक्षका के द्वारा किये गये नापा के गणितीय सम्बन्ध का व्यक्त करता ह। लम्बाई के इस आभासी आकुचन का ही परिपूरक[1] घडिया का आभासी मन्दन[2] है। क-तत्र से सम्बन्धित प्रेक्षक जब ख-तत्र की घडी की चाल का अध्ययन करते ह तब उन्हें मालूम देता ह कि वह घडी उनकी क-तन्त्रीय घडिया की अपेक्षा धीरे चलती है और व समझते ह कि गतिशील घडी पीछे होती जाती ह। आइन्स्टाइन ने सिद्ध किया कि यह भी लारेंटज रूपान्तरण का ही परिणाम है। लम्बाई का आकुचन और घडिया का मदन दाना ही आभासी ह और आकाश तथा काल की उन नवीन परिभाषाओ मे उत्पन्न हुए है जिनका लारेटज रूपातरण मे सम्बन्ध है। विपरीतत यदि लम्बाई के आकुचन और घडिया के मन्दन का पूर्वत स्वीकृत मान लिया जाय ता लोरेटज रूपान्तरण के सूत्रा का सत्यापन हो जाता ह।

जिन युक्तिया मे आइन्स्टाइन ने आकाश तथा काल की अपनी नूतन धारणा का औचित्य सिद्ध किया ह वे अधिकतर ऐसी ह जिनका यथार्थ प्रतिपादन बहुधा गूढ आर जटिल होता है। किन्तु वे युक्तिया पूर्णत प्रबल ह आर तक की दृष्टि से उनके विरुद्ध काई गभीर दोपारोपण नही किया जा सकता। विशेषत हम इस विरोधाभासी तथ्य का अकाट्य रूप से सिद्ध कर सकते ह कि छडा का आकुचन और घडिया का मन्दन अन्यान्यानुवर्ती आभास ह अर्थात यदि अन्यान्य-सापेक्ष अचर वर्गीय गतिवाले दो प्रेक्षका का एक एक छड और एक एक घडी ऐसी दे दी जाय जिनकी बनावट बिल्कुल एक-सी हो ता प्रत्येक प्रेक्षक का दूसरे प्रेक्षक की छड अपनी छड से छाटी दिखाई देगी और दूसर प्रेक्षक की घडी अपनी घडी की अपेक्षा सुस्त चलती हुई मालूम पडेगी। यह अन्यान्यानुवर्तन देखने मे कितना ही आश्चर्यजनक क्यो न मालूम दे किन्तु जब इस सिद्धात की परीक्षा सावधानी से की जाती ह तब इसकी सतोषजनक व्याख्या सरलतापूर्वक हो जाती है। किन्तु स्वभावत ही ऐसी परीक्षा यहा सभव नही ह।

आइन्स्टाइन के आपेक्षिकता सिद्धात के द्वारा आकाश और काल की धारणाओ में जो परिवर्तन हुआ उसके कारण गतिमिति के नियमा मे भी परिवर्तन करने की आवश्यकता हो गयी। विशेषकर इस सिद्धान्त से वेगा के सयोजन[3] का जो नियम प्राप्त होता है वह चिरप्रतिष्ठित नियम से अधिक जटिल है। वेग-सयोजन के

1 Complementary 2 Slowing 3 Composition

दूर नवीन नियम के द्वारा गतिशील एवं विक्षेपी[1] माध्यमों में प्रकाश प्रचरण सम्बन्धी फ़िज़ो के प्रयोग के परिणाम की सरल व्याख्या ही वस्तुतः आपेक्षिकता सिद्धान्त की एक अच्छी सफलता मानी जाती है। ईथर सिद्धान्त की भाषा में तो इस प्रयोग का परिणाम यह कहकर समझाया जा सकता था कि चलती वस्तु की गति के कारण ईथर का भी उसके साथ-साथ आंशिक गहनपण[2] हो जाता है। इस आंशिक सहकर्षण के लिए गतिशील वस्तु के वर्तनांक[3] के फलन के रूप में फ्रेनेल ने निम्न सूत्र का प्रतिपादन किया था उसका सत्यापन फीज़ो[4] ने कर दिया था। लारेंट्ज के इलेक्ट्रान-सिद्धान्त ने भी इस सूत्र के निगमन में सफलता मिली थी, किन्तु आपेक्षिकता के सिद्धान्त के द्वारा इसकी जो व्याख्या प्राप्त हुई है वह बहुत ही अधिक सरल और सुन्दर है क्योंकि इसमें तो यह वेग-संयोजन के नवीन सूत्र के प्रत्यक्ष परिणाम के रूप में ही प्रकट हो जाता है।

## २ दिक्-काल[5]

गलीलीय रूपान्तरण उस परिकल्पना पर आधारित था जिसमें दिक् (आकाश) और काल एक दूसरे से पूर्णत स्वतंत्र माने गये थे और इस स्वतंत्रता के ही कारण इन सत्ताओं में निरपेक्षता का गुण आरोपित हुआ था। इसके विपरीत लोरेंट्ज-रूपान्तरण के समीकरणों के रूप से ही प्रकट है कि आपेक्षिकता के सिद्धान्त में यह सम्भव ही नहीं है कि आकाशीय निर्देशांकों को समय के निर्देशांक से स्वतंत्र समझा जाय। विभिन्न प्रेक्षकों के लिए उपयोगी आकाश और काल के निर्देशांकों के पारस्परिक सम्बन्ध का ज्यामितीय विधि से निदर्शन करने के लिए एक चतुर्विमितीय[6] सातत्यक की कल्पना करना आवश्यक हो जाता है जिससे लोरेंट्ज रूपान्तरण में निहित आकाश और काल का प्रगाढ़ ऐक्य अमूर्त रूप में सम्पन्न हो जाता है। इस ज्यामितीय निरूपण का मिनकाउस्की[8] ने संवर्धित और विकसित किया था और अब यह दिक्-काल के नाम से प्रख्यात है।

लोरेंट्ज रूपान्तरण से दिक्-काल के दो बिन्दुओं का अन्तराल निश्चर रहता है और आपेक्षिकता के सिद्धान्त में भौतिक विज्ञान के समस्त नियम दिक्-कालीय टेन्सरों[9] के अनुबन्धों के रूप में प्रकट होते हैं। प्रत्येक प्रेक्षक उस चतुर्विमितीय दिक्-काल सातत्यक[10] को किसी विशेष प्रकार से काटकर अपने निजी आकाश और काल का पृथक् कर लेता है और जिन विभिन्न रीतियों से दो न्याय्य-सापेक्ष अचर वेगवाले

1 Dispersing 2 Drag 3 Refracting index 4 Fizeau 5 Space Time 6 Four dimensional [7] Continuum 8 Minkowski 9 Tensor 10 Continuum

प्रेक्षक अपने अपने आकाश और काल को पृथक करते हैं उन्हीं से लॉरेन्ज रूपान्तरण के सूत्र तुरन्त प्राप्त हो जाते हैं।

इस प्रकार आपेक्षिकता का सिद्धान्त काल के एक तथा आकाश के तीनों निर्देशांकों को मिलाकर किसी प्रकार एकता तक ही सातत्यक में सघटित कर देता है यद्यपि उनके भौतिक रूपों में इतना अधिक अन्तर है। किन्तु इससे हम यह परिणाम नहीं निकालना चाहिए कि आपेक्षिकता के सिद्धान्त ने आकाश और काल में अभिन्नता सिद्ध कर दी है। केवल इतना ही नहीं है कि अपने भौतिक गुणों के कारण आकाश और काल अब भी वस्तुत भिन्न ही रहते हैं किन्तु मिन्काउस्की के दिक्-काल के गणितीय विवरण में यह भिन्नता स्पष्टत इस बात में प्रकट होती है कि उसमें काल के निर्देशांक का काय और आकाश के निर्देशांकों के काय एक-से नहीं माने जाते। यदि हम चाहें कि इस दिक्काल को भी ज्यामितीय धारणा के अनुसार यक्लिडीय आकाश ही समझा जाय तो इस चतुर्विमितीय सातत्यक के निर्माण के लिए केवल तीनों आकाशीय निर्देशांकों को ज्यों-का-त्यों सयोजन करने में काम नहीं चलता। समय के निर्देशांक को $\sqrt{-1}$ से गुणा करके तब उसे आकाशीय निर्देशांकों से मिलाना आवश्यक होता है। यही आकाश और काल की मौलिक भिन्नता का प्रतीक है।

इसके अतिरिक्त काल का एक मूल गुण यह है कि उसका प्रवाह केवल एक ही दिशा में होता है। इससे दिक्-काल में एक प्रकार की ध्रुवीयता[1] प्रकट होती है और जिस अक्ष पर काल का नाप किया जाता है उसकी धन दिशा को विशिष्टता[2] प्राप्त हो जाती है। प्रत्येक क्षण पर द्रव्य विन्दु की स्थिति दिक् काल के किसी एक बिन्दु के द्वारा निरूपित होती है और काल प्रवाह में इस बिन्दु के उत्तरोत्तरवर्ती स्थानों से दिक्-काल में एक रेखा बन जाती है जो उस द्रव्य विन्दु की विश्व रेखा[3] कहलाती है। प्रत्येक विश्व रेखा की एक दिशा विशिष्ट होती है जो भूतकाल से भविष्य की ओर जाती है और विश्व रेखा खींचने का यह अद्वितीय दिशा ही इस बात को प्रकट करती है कि आकाश और काल में अन्तर कहा है।

किन्तु आकाश और काल चाहे कितने ही भिन्न क्यों न हों, इस बात में भी कम सत्यता नहीं है कि आपेक्षिकता के सिद्धान्त में वे एक दूसरे से स्वतंत्र नहीं हो सकते और यह चतुर्विमितीय दिक् काल ही उनकी इस पारस्परिक परतंत्रता का प्रतीक है और यही वह नवीन निर्देश तंत्र प्रस्तुत करता है जिसमें समस्त प्राकृतिक नियमों को व्यक्त करना आवश्यक है।

1 Polarity 2 Privilege 3 World line

दिक्-काल के विषय में हम अब और अधिक नहीं कहना चाहते क्योंकि बिना गणितीय सांकेतिकता[1] की सहायता के इसका अधिक सूक्ष्म अध्ययन संभव नहीं है। हम तो अब यह बताना चाहते हैं कि आइन्स्टाइन के सिद्धान्त ने यान्त्रिकी के नियमों में परिवर्तन क्या और कैसे किया।

## ३ आपेक्षिकीय गति-विज्ञान[2]

न्यूटन के चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकीय समीकरण गलीलीय-रूपान्तरण में निश्चर रहते हैं। जब तक यह समझा जाता था कि दो अन्योन्य-सापेक्ष अचर वेगवाले प्रेक्षकों के निर्देशाकों का सम्बन्ध गलीलीय रूपान्तरण से प्राप्त हो सकता है तब तक तो यह भी स्वीकार करना पड़ता था कि न्यूटन के समीकरण अचल नक्षत्रों की अपेक्षा सरल रेखा में अचर वेग से चलनेवाले सभी निर्देश-तन्त्रों में सत्य रहते हैं। इनमें से प्रत्येक तन्त्र के समस्त प्रेक्षकों की दृष्टि में यान्त्रिकीय घटनाओं के नियम यथावत् अभिन्न होते हैं और उसी तन्त्र में सम्पन्न किसी भी यान्त्रिकीय प्रेक्षण के द्वारा उस तन्त्र की निरपेक्ष गति का निर्णय करना संभव नहीं होता। पुरातन यान्त्रिकी में आपेक्षिकता का सिद्धान्त यही था। किन्तु जब अन्योन्य-सापेक्ष अचर-वेगीय तन्त्रों के निर्देशाकों के रूपान्तरण के लिए आइन्स्टाइन ने गलीलीय रूपान्तरण के स्थान में लोरेन्ट्ज रूपान्तरण को प्रतिस्थापित कर दिया तब स्थिति बदल गयी। इस प्रतिस्थापन[3] के कारण माइकेल्सन के प्रयोग तथा वैसे ही अन्य प्रयोगों के नकारात्मक परिणामों से सुसंगत आपेक्षिकता का सिद्धान्त प्रकाशीय तथा विद्युत् चुम्बकीय घटनाओं के लिए यथार्थ समझा जाने लगा। किन्तु न्यूटन के यान्त्रिकीय समीकरण लोरेन्ट्ज रूपान्तरण में निश्चर नहीं रहते। अतः यह आपेक्षिकता का सिद्धान्त यान्त्रिकीय घटनाओं के लिए सत्य नहीं हो सकता—कम से कम दृढ़तापूर्वक तो हो ही नहीं सकता। आइन्स्टाइन ने इस परिणाम को स्वीकार करने योग्य नहीं माना और यह धारणा बनायी कि आपेक्षिकता का सिद्धान्त समस्त प्रकार की भौतिक घटनाओं के लिए मान्य होना चाहिए। किन्तु तब यह आवश्यक हो गया कि यान्त्रिकी के समीकरणों को परिवर्तित करके ऐसा रूप देना चाहिए कि वे लोरेन्ट्ज रूपान्तरण में निश्चर रहें। किन्तु यह परिवर्तन इस ढंग से होना चाहिए कि जिन समस्त सामान्य अवस्थाओं में उन समीकरणों से अत्यन्त चमत्कारी परिणाम निकले हैं उनमें वे पहले के समीकरण अब भी प्रथम सन्निकटना के रूप में यथार्थ बने रहें। यान्त्रिकी के इन मूल समीकरणों के लिए लोरेन्ट्ज

1 Symbolism 2 Relativistic Dynamics 3 Substitution

रूपान्तरण में निश्चर रहनेवाला रूप मालूम करना आसान था। न्यूटन के समी करणा के अनुसार सवेग[1] का काल-सापेक्ष अवकल्ज[2] बल के बराबर होता है। आइन्स्टाइन के गति विज्ञान में यह नियम तो ज्यों का-त्यों रखा गया है किन्तु सवेग की परिभाषा चिर प्रतिष्ठित गति विज्ञान की परिभाषा से भिन्न कर दी गयी है। द्रव्य विन्दु के सवेग का द्रव्यमान तथा वेग के गुणनफल के बराबर मानने के स्थान में इस नवीन गति विज्ञान में उसे उस राशि के बराबर माना गया है जो द्रव्यमान तथा वेग के गुणनफल का एक ऐसे गुणक से भाग देने पर प्राप्त होती है जो वेग का फलन होता है। जब तक वेग इतना कम होता है कि उसके वेग और प्रकाश के शून्याकाशीय वेग के वेग का अनुपात उपेक्षणीय रहे तब तक तो इस गुणक को एक के बराबर मान लेने में कोई ध्यान देने योग्य गलती नहीं होती। फलत सवेग का वही पुराना सूत्र पुन प्राप्त हो जाता है। किन्तु प्रकाश के शून्याकाशीय वेग की कोटि के तीव्र वेगों के लिए उस गुणक का मान एक के बराबर नहीं रहता और वह वेग के साथ-साथ बदलता भी है। उस दशा में पुराने और नये नियमों के परिणामों में अन्तर पैदा हो जाते हैं और द्रव्य बिन्दु का वेग ज्यों ज्यों प्रकाशीय वेग के निकट पहुँचता जाता है त्यों त्यों इन अन्तरों के प्रेक्षण की सभावना भी अधिक बढती जाती है। इसके अतिरिक्त गति विज्ञान के नवीन समीकरणों से यह भी परिणाम आसानी से निकल आता है कि किसी भी द्रव्य बिन्दु का वेग प्रकाश के शून्याकाशीय वेग से अधिक कभी भी नहीं हो सकता। अत ऐसा मालूम होता है कि आकाश में ऊर्जा के स्थानान्तरण के वेग के लिए प्रकाश का शून्याकाशीय वेग ही उच्चतम सीमा है। इस प्रकार घडियों के सकालन की विधि की मीमासा में आइन्स्टाइन ने जिस परिकल्पना का निर्माण किया था उसकी भी परत[3] पुष्टि हो जाती है।

हम यहाँ आपेक्षिक यान्त्रिकी के समीकरणों के विस्तृत विवेचन में प्रवृत्त नहीं हो सकते। इतना ही कह देना पर्याप्त होगा कि यह यान्त्रिकी ठीक उसी पद्धति का अनुसरण करने से विकसित हो सकती है जिसे पुरानी यान्त्रिकी में इतनी अच्छी सफलता मिली थी। उदाहरणार्थ जिस स्थिर क्रिया[4] के सिद्धान्त से प्रारम्भ करके हैमिल्टन और लाग्राज के समीकरण प्राप्त किये गये थे, ठीक उसी सिद्धान्त से इस नवीन गति विज्ञान के समस्त समीकरणों का भी निगमन हो सकता है और अपरिवर्ती कर्म-पेना में मॉपरट्यू इस का अल्पतम क्रिया का नियम और याकोबी का सिद्धान्त ये भी पुन प्राप्त हो जाते हैं। किन्तु पुरानी और नयी यान्त्रिकी में एक गहरा भेद यह है कि क्रिया के अनुकल

1 Momentum 2 Differential 3 A posteriori 4 Stationary action
5 Law of least action 6 Integral of action

में प्रयुक्त फलन दाता में अभिन्न नही है। किन्तु जब भी गतिशील द्रव्य का वेग इतना कम हो कि उसके तथा प्रकाश के शून्याकाशीय वेग के वर्गों का अनुपात उपेक्षणीय हो जाय, तब इस आपेक्षिकीय फलन का मान क्रिया के चिरप्रतिष्ठित फलन के मान के बराबर हो जाता है। इसका प्रत्यक्ष तात्पर्य यह है कि चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी एक सन्निकटन है जो अधिकांश साधारण अवस्थाओं में सत्य ही ठहरता है।

हम देख चुके हैं कि यान्त्रिकी के आपेक्षिकीय समीकरणों में जो परिवर्तन निविष्ट किया गया है वह इस बात से व्यक्त किया जा सकता है कि किसी द्रव्य बिन्दु का सवेग उसके एक लाक्षणिक नियताक को वेग से गुणा करके तथा इस गुणनफल में वेग के एक विशेष फलन का भाग देने से प्राप्त होता है। किन्तु यदि हम चाहें तो यह भी कह सकते हैं कि पुरानी यान्त्रिकी के समान ही द्रव्य बिन्दु का सवेग अब भी द्रव्यमान और वेग का गुणनफल होता है किन्तु शर्त यह है कि यह मान लिया जाय कि वेग के परिवर्तन के साथ-साथ द्रव्यमान भी परिवर्तित हो जाता है। ज्यो-ज्यो वेग का मान शून्य के निकट पहुँचता जाता है त्यो-त्यो सवेग के व्यजक[1] के हर[2] का मान भी १ के निकट पहुँचता जाता है। इस कारण इस व्यजक के अश[3] का लाक्षणिक नियताक ही विराम-अवस्था में उस द्रव्य बिन्दु का द्रव्यमान होता है। इसे बहुधा "नैज द्रव्यमान"[4] अथवा विराम द्रव्यमान[5] कहते हैं क्योकि यही उस द्रव्य बिन्दु के सहचारी प्रेक्षक द्वारा प्रेक्षित द्रव्यमान होगा। हम पहले ही बता चुके हैं कि द्रव्यमान का वेगानुचारी परिवर्तन प्रक्षणगम्य तभी होगा जब वेग प्रकाश के शून्याकाशीय वेग के निकट पहुँच जायगा।

आपेक्षिकता के द्वारा सवेग के व्यजक मे जो परिवर्तन हुआ है उसी का आनुपातिक परिवर्तन ऊर्जा के व्यजक में भी हो गया है। यह कोई आश्चर्य की बात नही है क्योकि यह आसानी से प्रमाणित किया जा सकता है कि सवेग के तीनो सघटक[6] और ऊर्जा ये चारो ही दिक् काल की एक चतुर्विमितीय राशि के सघटक है जिसे हम विश्व-बल[7] चतुर्दिष्ट[8] कह सकते है। और जब सवेग और ऊर्जा एक ही गणितीय धारणा के अग हैं तब क्या आश्चर्य है कि एक का परिवर्तन दूसरे में भी प्रतिलक्षित हो। ऊर्जा के नये व्यजक में यह रोचक गुण है कि वेग का मान शून्य हो जाने पर भी ऊर्जा का मान शून्य नही हो जाता किन्तु तब उसका मान अपरिवर्ती हो जाता है और नैज द्रव्यमान और आकाश के शून्याकाशीय वेग के वर्ग के गुणनफल के बराबर हो जाता है। इससे प्रकट होता है कि प्रत्येक द्रव्य बिन्दु मे और प्रत्येक अवस्थितित्व[9] गुणवाली वस्तु में वेग से

1 Expression 2 Denominator 3 Numerator 4 Proper mass 5 Rest mass 6 Components 7 World force 8 Four vector 9 Inertia

स्वतन भी कुछ नैज ऊजा विद्यमान रहती ह। यदि वेग का मान शून्य न हो तो उस वस्तु की ऊजा नैज उर्जा की अपक्षा अधिक होती है और गतिशील वस्तु की सम्पूर्ण ऊजा तथा नैज उर्जा मे जो अन्तर हाना है वही गति के कारण उत्पन्न ऊजा हानी है और उसी को हम गतिज ऊजा[1] कह सकते हैं। यदि गतिज ऊजा के इस आपेक्षिकीय व्यजक पर गौर किया जाय तो हम देखेंगे कि प्रकाश वेग की अपक्षा अल्प वेगा के लिए इस व्यजक के मान मे और पुरानी यान्त्रिकी द्वारा निर्धारित मान मे कोई प्रेक्षण-गम्य अन्तर नही रहता अथात यह भी द्रव्यमान और वेग के वग के गुणनफल के अर्धांश के बराबर ही हो जाता ह। इसमे फिर वही प्रथम सन्निकटन का लक्षण दिखाई देता ह जो प्रकाश वग की अपेक्षा स्वल्प वेगा के लिए यथाथ समझा जा सकता है और यही कारण ह कि आपेक्षिकतावादी की दृष्टि मे भी सामान्यत न्यूटन के सूत्रा का उपयाग उचित समझा जा सकता ह।

जो प्रेक्षक किसी भौतिक वस्तु की अपेक्षा अचल रहता ह उसके दृष्टिकोण से उस वस्तु में विद्यमान ऊजा का मान उस वस्तु के नैज द्रव्यमान और प्रकाश वग के वग के गुणनफल के बराबर होता है। किन्तु हम देख चुके ह कि यदि उस वस्तु में गति हो तो उसका द्रव्यमान उसके वेग पर अवलम्बित हो जाता ह किन्तु स्वल्प वेगा के लिए उसमे और नैज द्रव्यमान में कुछ भी अन्तर नही दिखाई देता। परन्तु जब उसका वेग प्रकाश वग के लगभग पहुँचने लगता ह तब यह द्रव्यमान भी बढकर अनन्त की ओर प्रवृत्त होता है। यह भी प्रमाणित किया जा सकता है कि प्रत्येक प्रेक्षक के द्वारा नापा हुआ किसी भी वस्तु की ऊजा का मान सवदा ही प्रकाश-वग के वग और उस गतिमान वस्तु के प्रेक्षक सापेक्ष द्रव्यमान के गुणनफल के बराबर होता ह। अत ज्यो-ज्यो वस्तु का वेग बढकर प्रकाश वग के निकट पहुँचता जाता है त्यो-त्यो उस गतिशील वस्तु की ऊजा का मान भी बढकर अनन्त के निकट पहुँचता जाता है। किसी वस्तु मे प्रकाश के शून्याकाशीय वग के बराबर या उससे अधिक वग उत्पन्न करने की असभवता का ही यह एक नवीन रूप है। आइस्टाइन ने इस परिणाम को यह प्रमाणित करके और भी अधिक व्यापक रूप द दिया कि सब वस्तुओ मे—सब भौतिक सत्ताओ मे—जिनका किसी प्रेक्षक द्वारा प्रेक्षित कुछ द्रव्यमान होता है उनमे इस द्रव्यमान के अस्तित्व के ही कारण कुछ ऊजा भी होती ह जिसका उसी प्रेक्षक द्वारा प्रेक्षित मान द्रव्यमान और प्रकाश वेग के वग के गुणनफल के बराबर होता ह। उन्होने इस बात को बहुत से उदाहरणो द्वारा भी

1 Kinetic energy

स्पष्ट कर दिया है। इस प्रकार ऊर्जा के अवस्थितित्व के इस सिद्धान्त के द्वारा द्रव्यमान और ऊर्जा में एक व्यापक पारस्परिक सम्बन्ध स्थापित हो गया है। और इससे यह परिणाम निकलता है कि ऊर्जा का ह्रास होने से सब वस्तुओं का द्रव्यमान घट जाता है। विपरीतत यदि उनमें ऊर्जा की वृद्धि हो जाय तो उनका द्रव्यमान भी बढ़ जाता है। उदाहरण के लिए जब किसी परमाणु में से विकिरण का उत्सर्जन होता है तब उसका द्रव्यमान घट जाता है। जब से ऊर्जा के अवस्थितित्व का सिद्धान्त प्रतिपादित हुआ है तब से सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान की समस्याओं में—जितना तारा भौतिकी[1] की समस्याओं में उतना ही नाभिकीय तथा पारमाणविक भौतिकी की समस्याओं में भी—इसका महत्वपूर्ण स्थान रहा है। विशेषत परमाणु विघटन[2] की घटनाओं के ऊर्जा सम्बन्धी आकड़ा के तैयार करने में और इन घटनाओं के प्रवर्तक नाभिकों की पारस्परिक प्रतिक्रियाओं के सूत्रों के निर्माण में तो इसने बड़ी प्रबल सहायता दी है। किन्तु यह स्थान इन प्रश्नों के विवेचन का नहीं है।

## ४ व्यापक आपेक्षिकता[3]

इस पुस्तक में हम व्यापक आपेक्षिकता के सम्बन्ध में बहुत थोड़े ही शब्द कहेंगे। अपने सिद्धान्त के विकास के प्रारम्भ में तो आइन्स्टाइन का विवेचन केवल ऐसे निकायों तक ही सीमित था जिनमें अचल नक्षत्रों के सापेक्ष सरल-रेखात्मक और अचर वेगीय गति हो। इससे उन्होंने आपेक्षिकता के सिद्धान्त का केवल वही रूप प्राप्त किया जो सरल रेखात्मक और अचर-वेगीय गति के लिए पुरानी यान्त्रिकी के समान ही उपयोगी था। इसी लिए जिन परिणामों की उन्होंने प्रारम्भ में घोषणा की थी उनके समूह का नाम विशिष्ट आपेक्षिकता[4] रखा गया था। इसी के सम्बन्ध में हमने मूल बातें ऊपर लिखी है। किन्तु प्रत्यक्षत ही यह आवश्यक था कि इन परिणामों को अधिक व्यापक बनाकर ऐसा सिद्धान्त प्रस्तुत किया जाय जो असरल रेखात्मक और त्वरित वेगवाली[5] गतियों के लिए भी उपयोगी हो। ऐसी गतियों के लिए सामान्यत विशिष्ट शब्द के अर्थ के ठीक अनुरूप तो कोई आपेक्षिकता का सिद्धान्त हो ही नहीं सकता क्योंकि किसी त्वरित तन्त्र में (यथा किसी घूर्ण-गति युक्त तन्त्र में) निबद्ध प्रेक्षक को यान्त्रिक प्रकाशीय और विद्युत चुम्बकीय घटनाओं के प्रवाह पर उस गति का प्रभाव अवश्य ही मालूम पड़ जायगा। विशेषत त्वरित तन्त्र में यान्त्रिक घटनाओं के सम्बन्ध

1 Astro physics 2 Disintegration 3 General Relativity 4 Special Relativity 5 Accelerated

का परिकलन तभी सभव होता ह जब हम उनमे अपकेन्द्र-बल[1] और 'कारियालिस-बल'[2] जसे काल्पनिक बलो का उपयोग करे और इन बलो के द्वारा उत्पन्न प्रभाव उस त्वरित प्रेक्षक को यह बता देते ह कि वह स्थिर नहीं है। फिर भी आपेक्षिकता की धारणा को व्यापक रूप म अक्षुण्ण रखने के लिए आवश्यक ह कि यह मान लिया जाय कि प्रकृति के नियम सदा दिक्-काल मे उमगीय समीकरणो के द्वारा व्यक्त होते है और भौतिक घटनाओ पर त्वरण के प्रभावो की व्याख्या केवल उस व्यवस्था द्वारा दी जाय जो उस त्वरित प्रेक्षक के निर्देशाको का निर्णीत करने के लिए बनायी गयी हो। इस विश्लेषण से प्रकट होता ह कि त्वरित प्रेक्षक दिक्-काल म वक्र रेखीय[3] निर्देशाको का उपयोग करता ह और केवल यही बात प्रक्षित बलो की विशेषत अपकेन्द्र-बल और अपकेन्द्र-सघटको के प्रादुर्भाव की व्याख्या के लिए पर्याप्त होती ह।

इस समस्या पर सूक्ष्म विचार करते समय ही आइन्स्टाइन को एक विलक्षण बात सूझी और उसी के द्वारा उन्ह गुरुत्वाकर्षण के विख्यात सिद्धान्त का प्रतिपादन करने म सफलता मिली। न्यूटन जगत के तथ्यो की व्याख्या म जिस गुरुत्वाकर्षण-बल का इतना महत्त्वपूर्ण स्थान है वह सदा से हमारे परिचित अन्य सभी प्राकृतिक बलो से बहुत कुछ पृथक ही रहा है। उसका एक अनिवार्य लक्षण यह है कि वह सदा आकर्षित वस्तु के द्रव्यमान का अनुपाती होता ह और इओटवो[4] के अत्यन्त यथार्थता पूर्णप्रयोगो से प्रमाणित हो चुका है कि यह अनुपातत्व पूर्णत यथार्थ है। अत गतिविज्ञान के समीकरणो के रूपमात्र से ही यह स्पष्ट हो जाता ह कि शुद्ध गुरुत्वीय बल-क्षेत्र मे भौतिक वस्तुओ की गति द्रव्यमान पर अवलम्बित नहीं होती। इसलिए गमन पथ[5] निर्णीत करने के लिए यह जानने की आवश्यकता नहा होती कि गमन करनेवाली वस्तु किस प्रकार की है। गुरुत्वीय बल-क्षेत्र के अपने आभ्यन्तरिक गुणो म ही ये गमन-पथ न जाने कसे बन जात ह। इस तथ्य म आइन्स्टाइन को इस बात का प्रमाण दिखाई दिया कि किसी प्रदेश म गुरुत्वीय बल-क्षेत्र का अस्तित्व दिक् काल मे स्थानीय वक्रता की उपस्थिति प्रकट करता है। विशिष्ट आपेक्षिकता का दिक्-काल तो ठीक वसा ही चतुर्विमितीय सातत्यक ह जसे सब यूक्लिडीय सातत्यक होते ह और समतल जिनका एक द्विविमितीय उदाहरण है। किन्तु यह मानने में हमारे सामने काइ बाधा नहीं है कि दिक् काल सवत्र यूक्लिडीय नहीं होता और उसम कहा कहीं स्थानीय वक्रताएँ भी होती ह। और तब

1 Centrifugal force 2 Coriolis force 3 Curvilinear 4 Eotvos 5 Trajectories

इन दिक्-काल में सरल रेखात्मक कार्तीय निर्देशांक-तन्त्र का अस्तित्व सम्भव नहीं हो सकता और उसके बिन्दुओं के स्थान निरूपण के लिए उस प्रकार के निर्देशांकों की आवश्यकता है जैसे ज्यामिति में वक्र-तलों के अध्ययन के लिए काम में लिए जाते हैं। अत इस दिक्-काल के वक्र प्रदेशों में स्थित प्रेक्षक को वहाँ की घटनाओं के निरूपण के लिए अनिवार्यत वक्र-रेखीय निर्देशांकों का व्यवहार करना पड़ता है और इसी से गुरुत्वीय बलों का प्रादुर्भाव होता है। जिस तरह किसी घूर्ण-तन्त्र में अपकेन्द्र बलों की उपस्थिति का कारण यह है कि उस तन्त्र से निबद्ध प्रेक्षक घटनाओं को यूक्लिडीय दिक्-काल में निर्दिष्ट करने के लिए वक्र-रेखीय निर्देशांकों का उपयोग करता है। ठीक इसी तरह जहां गुरुत्वीय बल-क्षेत्र होता है वहाँ गुरुत्वीय-बल भी इस कारण प्रकट होता है कि वहां दिक्-काल में वक्रता है और प्रेक्षक के लिए वक्र रेखीय निर्देशांकों का उपयोग करना अनिवार्य हो जाता है। यहां मैं आइन्स्टाइन के गुरुत्वाकर्षण सम्बन्धी सिद्धान्त की इस सक्षिप्त रूप-रेखा से ही सतोष करूँगा क्योंकि इससे अधिक विवरण जटिल गणितीय प्रक्रियाओं की सहायता के बिना सम्भव नहीं है। किन्तु इतना अवश्य कहूँगा कि यह सिद्धान्त सर्वथा सारगर्भपूर्ण है और बुद्धि के लिए पूर्णत सतोषजनक है।

विशिष्ट-आपेक्षिकता के सिद्धान्त का प्रायोगिक सत्यापन बहुत अच्छी तरह हो चुका है। आइन्स्टाइन के गति विज्ञान ने द्रव्यमान के जिस वेगानुचारी परिवर्तन की प्रागुक्ति की थी और जो प्रकाश वेग के सदृश तीव्रगामी इलैक्ट्रानों के सम्बन्ध में सहज में ही प्रेक्षण-गम्य होना चाहिए वह अनेक प्रायोगिक अनुसधानों के द्वारा सतोषजनक रीति से सत्य प्रमाणित हो गया है। ऐसे अनुसधानों में गाई और ल्वन्शी[1] के अनुसधान सबसे नये और सबसे अधिक निर्णायक हैं। इसी तरह ऊर्जा के अवस्थितित्व का सिद्धान्त भी इतना अधिक उपयोगी सिद्ध हुआ है (विशेषकर नाभिकीय भौतिक विज्ञान में) कि उसकी सत्यता में सन्देह करने की गुजायश नहीं है। किन्तु यद्यपि विशिष्ट आपेक्षिकता का सिद्धान्त प्रयोगों के द्वारा सुसत्यापित जान पड़ता है फिर भी हम समझते हैं कि व्यापक आपेक्षिकता सिद्धान्त के विषय में उतनी निश्चितता प्रकट करना उचित नहीं है। जिन नवीन घटनाओं के अस्तित्व की प्रागुक्ति इस सिद्धान्त ने की है वे इतनी सूक्ष्म और दुर्ग्राह्य हैं कि उनका वास्तविक प्रेक्षण हो जाने पर भी यह प्रश्न बना ही रहता है कि क्या सचमुच इनका वही कारण है जो आइन्स्टाइन का सिद्धान्त बताता है। कहीं ऐसा तो नहीं है कि इनका वास्तविक कारण कोई दूसरा ऐसा अज्ञात

1 Guye - Lavanchy

स्वल्प विक्षोभ[1] हो जिस पर उन घटनाओ से सम्बन्धित विश्लेषण में विचार नहीं किया गया। न तो बुध ग्रह के परिसौर विन्दु[2] के अत्यन्त दीर्घकालिक[3] विस्थापन में और न सूर्य विम्ब के पास से निकलनेवाली प्रकाश किरणों के विचलन[4] मे ही गुरुत्वाकर्षण की आपेक्षिकीय धारणाओ की सत्यता का अकाट्य प्रमाण दिखाई देता है। इन घटनाओ का अस्तित्व तो है और उनके परिमाण की कोटि भी वही है जो आइन्स्टाइन के सिद्धान्त के अनुसार होनी चाहिए। फिर भी उनकी व्याख्या मे पूर्ण एकान्तता नहीं है। इनकी अपेक्षा तो सीरियस[5] नक्षत्र के प्रतिवेशी तारे के द्वारा उत्सर्जित स्पैक्टम-रेखाओ का रक्ताभिमुखी विस्थापन अधिक संशयहीन मालूम पडता है। किन्तु इस प्रकार का केवल एक ही सत्यापन पर्याप्त नहीं समझा जा सकता।

व्यापक आपेक्षिकता सिद्धान्त का प्रायोगिक सत्यापन जैसा भी हो, फिर भी यह स्वीकार करना ही पडेगा कि आइन्स्टाइन के सिद्धान्त की धारणाओ का समुच्चय एक भव्य कीर्तिस्तम्भ है। इस सिद्धान्त से हमें अनेक नयी और उपयोगी धारणाएँ प्राप्त हुई है। इसने हमें पूर्व-कल्पित धारणाओ का प्रत्याख्यान करना सिखाया है और हमारी सैद्धान्तिक मान्यताओ के आधारो की गहरी और सूक्ष्म परीक्षा करने की आवश्यकता से भी हमें परिचित कराया है। अत्यधिक कठिनता के ही कारण आपेक्षिकता के सिद्धान्त का अध्ययन हमारे सैद्धान्तिक भौतिकज्ञो के मस्तिष्को के अनुकूलन[6] के लिए बहुत अच्छा अनुष्ठान सिद्ध हुआ है।

1 Perturbation 2 Perihelion 3 Secular 4 Deviation 5 Sirius
6 Adaptation

# पाँचवाँ परिच्छेद

# भौतिक विज्ञान में क्वाटमो का प्रादुर्भाव

## १ चिरप्रतिष्ठित भौतिकी और क्वाटम-भौतिकी

अब भौतिक विज्ञान में क्वाटमो के प्रादुर्भाव का विवरण देने का समय आ गया है, किन्तु इस प्रादुर्भाव की कहानी कहने से पहले यह लाभदायक होगा कि थोड़े में उन विभिन्नताओं को बता दिया जाय जिनके द्वारा पिछले परिच्छेदों में वर्णित चिरप्रतिष्ठित प्राक्-क्वाटम भौतिक विज्ञान का उन क्वाटम सिद्धातो से पार्थक्य प्रकट होता है जिन पर अब हमें विचार करना है। चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान के समस्त सिद्धातो में प्रारम्भ से ही यह मान लिया गया था कि भौतिक जगत की अवस्था का दिग्दर्शन ऐसे अवयवो से किया जा सकता है जिन्हें हम त्रि विमितीय आकाश के संस्थान[1] में वितरित और काल प्रवाह में अनवरत रूप से प्रगामी समझ सकते हैं। इन भौतिक अवयवो की गति उनके कालानुवर्ती स्थान-परिवर्तनो के अनुक्रम के द्वारा निर्दिष्ट होती है। इन उपर्युक्त धारणाओ में और आपेक्षिकीय धारणा में निश्चय ही बड़ा गहरा भेद है। जिस आकाश में भौतिक घटनाएँ घटित होती है और समस्त कल्पित संभव प्रेक्षको द्वारा प्रेक्षित होती हैं उसे प्राग-आपेक्षिकीय भौतिक विज्ञान में अचल संस्थान माना गया था और यह भी मान लिया गया था कि एक ही सार्वभौम निरपेक्ष काल उन सभी प्रेक्षको को अपनी लय में बाँधे हुए है। इसके विपरीत आपेक्षिकता-वादी की दृष्टि में निरपेक्षता का लक्षण न तो आकाश में है और न काल में। यह लक्षण तो केवल उस चतुर्विमितीय सातत्यक में है जो आकाश और काल के पारस्परिक विलयन के द्वारा निर्मित होता है और जो दिक्-काल[2] कहलाता है। इस दिक्-कालीय सातत्यक को विभिन्न प्रकार से काटकर विभिन्न प्रेक्षक अपने-अपने निजी आकाश और काल प्राप्त कर लेते हैं। आकाश और काल की धारणाओ में ऐसा गभीर परिवर्तन हो जाने

1 Framework 2 Space time

पर भी आपक्षिकतावादी इस बात का स्वीकार करने मे अपने पूववर्ती वनानिका मे सहमत हैं कि प्रत्येक प्रे क भौतिक घटना-समच्चय को आकाश और काल के एमे सम्थान मे निर्दिष्ट कर मकता है जो स्वय सुनिर्णीत ह और जा उनमें निविष्ट मत्ताआ क गुण-धर्मो से पूणत स्वतन्त्र है। उदाहरण के लिए काई भी विशिष्ट प्रेक्षक किमी भी कणिका के काल प्रवाह मे उत्तरात्तरवर्ती आकाशीय स्थाना के सुनिर्णीत अनुक्रम के द्वारा उस कणिका के अस्तित्व का निर्दिष्ट कर मकता ह और ऐसा करने में उस कणिका के भौतिक लक्षणा का—यथा उसके द्रव्यमान को—जानने की कुछ भी आवश्यकता नही हाती। इसके अतिरिक्त आपक्षिकतावादी और विगत युग का भौतिकी दाना ही यह स्वीकार करते हैं कि घटनाआ की सम्पूण परम्परा कुछ अवकल समीकरणा की अपरिहाय लीला के द्वारा नियत्रित हाती है और ये समीकरण ही समस्त भविष्य का निश्चित कर दत ह। दिक-काल का स्वीकार करन मे पूरे अनन्त भविष्य में घटनेवाली समस्त घटनाआ के समुच्चय का अस्तित्व भी आपक्षिकतावादी स्वीकार कर लेता ह और उसके दष्टिकोण से मानव-बुद्धि की अपूणता के ही कारण प्रत्येक प्रेक्षक दिक्-काल में अवस्थित घटना-समुच्चय के केवल उत्तरात्तरवर्ती खडा का ही प्रेक्षण कर मकता ह और केवल उसी अनुपात में कर मकता है जिसमे कि उसके निज काल का प्रवाह हाता ह।

प्रत्येक प्रेक्षक के लिए घटनाआ को दिक-काल मे यथाथतापूवक निर्दिष्ट कर सकने की और कालान्तराल का दिगतराल मे परिणत कर मकने की सभावना को स्वीकार करके तथा दिक-काल की धारणा मे ही निहित समस्त वास्तविक भवतन[1] का निषेध करके आपक्षिकता के मिद्धात ने पुराने भौतिक विज्ञान की आधारभूत धारणाआ के परिणामा को पराकाष्ठा तक ता पहुँचा दिया ह किन्तु उन धारणाआ का त्याग नही किया ह। अत यह कहा जा सकता ह कि यद्यपि आइन्स्टाइन की धारणाएँ इतनी नयी और क्रातिकारी जान पडती ह तथापि आपक्षिकता का मिद्धान्त एक प्रकार से चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान का ही चरम रूप है।

किन्तु वतमान क्वाटम मिद्धान्ता की व्यवस्था बिल्कुल दूसरे प्रकार की ह। इन क्वाटम मिद्धान्ता के कई महत्त्वपूण लक्षण इस पुस्तक की भमिका मे ही बताये जा चुके ह और हम कह चुके ह कि क्रिया के क्वाटम के अस्तित्व म ही यह बात निहित है कि आकाश और काल म किमी वस्तु के अवस्थापन में और उस वस्तु की गत्यात्मक

1 Becoming

अवस्था में किसी न किसी प्रकार का अन्योन्याश्रयत्व है। पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान में इस तथ्य की जानकारी भी आवश्यक नहीं समझी गयी थी। और आपेक्षिकता के सिद्धान्त के द्वारा आकाश और काल के निर्देशाक्षों में जो सम्बन्ध स्थापित किया गया था उससे भी अधिक आश्चर्य-जनक परिणाम इनमें से प्रकट हुए हैं। किसी द्रव्य बिन्दु के स्थान और वेग को यौगपद्य्य माना का नापने की असम्भवता इसी अन्योन्याश्रयत्व का परिणाम है। हाइज़नबर्ग के अनिश्चितता के अनुबन्ध[1] इसी असम्भवता का यथातथ्य पूर्वक प्रकट करते हैं। और इसका अर्थ यह है कि किसी भी प्रकार के प्रयोगों और प्रमापनों के द्वारा दिक्-कालीय अवस्थापन और उसी क्षण की गत्यात्मक अवस्था इन दोनों को निर्णीत करने में समान यथार्थता प्राप्त करना सम्भव नहीं है। इस निर्णायक प्रश्न पर सूक्ष्म विचार करने से हमें ज्ञात हो जाता है कि पूर्वगामी भौतिक विज्ञान में प्रयुक्त आकाश और काल का संस्थान (और आपेक्षिकीय भौतिक विज्ञान का दिक्-काल संस्थान भी) क्वाण्टमीय दृष्टि से एक सन्निकटन मात्र है जो केवल भारी वस्तुओं के लिए ही यथार्थ समझा जा सकता है। और भारी वस्तुओं से यहाँ हमारा मतलब उन वस्तुओं से है जिनमें बहु-सख्यक मूल-कणिकाएँ विद्यमान हों और इसलिए जिनका द्रव्यमान मूल-कणिका के द्रव्यमान की अपेक्षा बहुत ही बड़ा हो। हमारे साधारण अनुभव में प्रत्यक्षतः प्रेक्षित सभी वस्तुएँ अवश्य ही ऐसी भारी वस्तुओं की कोटि में आ जाती हैं। यही कारण है कि पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान जिसमें हमारे स्थूल स्तर पर घटनेवाली घटनाओं का ही अध्ययन किया जाता था, आकाश और काल के उक्त संस्थान से सन्तुष्ट था। किसी भौतिक वस्तु पर खींचे हुए निर्देशाक्ष और साधारण रीति से स्थापित घड़ी के द्वारा आकाश के और काल के ऐसे निर्देशांक निर्णीत किये जा सकते हैं जो पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान की स्वीकृत धारणाओं के अनुसार स्थूलस्तरीय घटनाओं के लगभग पूर्णतः यथार्थ विवरण के लिए उपयोगी हो सकते हैं। किन्तु यदि सूक्ष्म-स्तरीय जगत के विकास का विवरण अभीष्ट हो और हम उपर्युक्त रीति से निर्णीत आकाश और काल के निर्देशाक्षों के द्वारा मूल-कणिकाओं के इतिहास का वर्णन करना चाहें तो हाइज़नबर्ग की अनिश्चितताओं से हमारी सीधी टक्कर हो जाती है तथा उन अनिश्चितताओं का अस्तित्व तुरन्त हमें इस बात की सूचना दे देता है कि पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान के जो आकाश और काल स्थूल स्तर के लिए सुनिर्णीत और पूर्णतः उपयोगी सिद्ध हुए थे वे अणुओं और परमाणुओं के स्तर पर भौतिक तथ्यों के वर्णन

1 Uncertainly relations

के लिए पूरी तरह उपयोगी नही ह। किन्तु जितन भी स्थूल स्तरीय भौतिका ह व अवश्य ही यह चाहत ह कि उन मूल कणिकाओ के जगत का वणन भी आकाश और काल क उसी सम्थान क द्वारा किया जाय जिस हमार अन तक क अनुभव न प्रस्तुत किया है। यही उन कठिनाइयो का कारण है जो क्वाटम सिद्धान्त मे हमार सामने उपस्थित होती ह और यही कारण है कि क्रिया के क्वाटम की धारणा हम इतनी रहस्यमय जान पड़ती ह। शायद यह सभव हो कि इस कणिका-जगत के लिए आकाश और काल के पूववर्ती स्थूल-स्तरीय सस्थान की अपक्षा किसी अधिक व्यापक, किन्तु कुछ कम दृढ सस्थान का निमाण किया जा सक। यह नयी विचारधारा जिसमें क्रिया के क्वाटम का समावश होना चाहिए और फलत जिसमें ज्यामितीय और गत्यात्मक पक्षा की पृथकता भी पूववर्ती विचारधारा की अपक्षा कुछ कम होनी चाहिए तभी सतोषजनक हो सकती है जब बहुसख्यक कणिकाओ के निकाय के लिए अथात भौतिक वस्तुओ के लिए हम आकाश और काल की अपनी प्राचीन चिर-अभ्यस्त धारणाओ को बनाये रख सके। इस दिशा म जीन लुई डिस्टूशे[1] ने बडे रोचक माग का अनुसरण किया है। यह माग ऐसा है जिस पर से हमारा ध्यान हटना नही चाहिए।

चिर प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान मे भौतिक घटनाओ की नियति अथवा प्राक निर्णीतता[2] की धारणा का वास्तविक कारण यह था कि हमने आकाश और काल के सम्बन्ध में कुछ विशेष प्रकार की धारणाएँ बना रखी थी। यद्यपि आपेक्षिकता के सिद्धान्त ने इन धारणाओ म बहुत गहरा परिवतन कर दिया था तथापि उसने इनका इतना आदर अवश्य किया था कि प्राक निर्णीतता की प्राचीन धारणा को उसने क्षति नही पहुँचायी। किन्तु यह बात क्वाटम सिद्धान्त के लिए सत्य नही ह क्योकि इसने किसी भी घटना के विन्यास को आकाश और काल के सस्थान में सतत रूप से निर्दिष्ट करने की असभवता का स्वीकार करके हमे प्राकनिर्णीतता का पूण रूप स त्याग करने के लिए या कम-स-कम उस धारणा मे गम्भीर परिवतन करने के लिए बाध्य कर दिया है। स्थूल-स्तरीय जगत के मूल-अवयवो के विन्यास और उनकी गत्यात्मक अवस्था क यौगपदिक ज्ञान की असभवता (जो क्रिया के क्वाटम के अस्तित्व का ही परिणाम है) का प्रभाव ऐसा होता है कि स्थूल जगत के जो प्रेक्षण हम उत्तरोत्तर कर सकते ह उनके परिणामो में प्राचीन प्राक निर्णीतता के सिद्धान्त के अनुरूप पारस्परिक दृढ सम्बन्ध स्थापित करने के लिए जितने अवयव आवश्यक ह उन्हे हम कभी जान ही नही पात।

1 Jean Louis Destouches 2 Determinism

वस्तुत वर्तमान क्वाटम सिद्धान्त से तो हमें केवल प्रायिकता[1] के ही नियम प्राप्त होते हैं और उनके द्वारा प्रथम प्रेक्षण का परिणाम मालूम होने पर हम इतना ही कह सकते हैं कि उसके बाद के किसी प्रेक्षण का कोई विशेष परिणाम निकलने की प्रायिकता कितनी है। सूक्ष्म-जगत में दृढ नियमो के स्थान में प्रायिकता के नियमो का प्रतिस्थापन निश्चय ही इस बात स जुडित है कि इस सूक्ष्म जगत में आकाश और काल की पूर्ववर्ती धारणाएँ यथार्थ नही है, किन्तु स्थूल-स्तरीय जगत् की वस्तुओ के लिए आकाश और काल की ये धारणाएँ किसी अनन्त-स्पर्शी[2] विधान के अनुसार पुन यथार्थता प्राप्त कर लेती है। और प्राक् निर्णीतता का भी यही हाल होता है जिससे क्वाटमीय नियमों की प्रागुक्तियों[3] की प्रायिकता निश्चितता में परिणत हो जाती है।

जो कुछ हम यहाँ कह चुके है वह यह बताने के लिए काफी होगा कि जिस दिन सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान ने क्रिया के क्वाटमो का उपयोग करने की आवश्यकता को स्वीकार किया था उस दिन उसने कितना बडा कदम उठाया था। अब यह बता देना उचित है कि पैंतीस वर्ष पहले यह बात किस प्रकार समव हुई थी।

## २ कृष्ण-वस्तु के विकिरण का सिद्धान्त और प्लाक का क्वाटम[4]

क्वाटम-सिद्धान्त का जन्म उन अनुसधानो से हुआ था जो सन् १९०० ई० के लगभग मैक्स प्लाक[5] ने कृष्ण-वस्तु के विकिरण के सम्बन्ध में किये थे। जब इस सिद्धान्त का विकास उन विधियो से करने का प्रयत्न किया गया जो उस समय भौतिक विज्ञान में प्रचलित थी, तब बडी कठिनाइयाँ उपस्थित हुइ। पहले इसी बात को स्पष्ट कर देना उचित है।

यदि हम किसी ऐसे निमीलित कोष्ठक[6] पर विचार करें जिसका टेम्परेचर स्थिर हो तो प्रकट है कि उस कोष्ठक के अन्दर रखी हुई भौतिक वस्तुएँ विकिरण का उत्सर्जन भी करेंगी और अवशोषण भी करेंगी और अन्त में ऐसा सन्तुलन उत्पन्न हो जायगा जिसमें द्रव्य और विकिरण के बीच में ऊर्जा के ये आदान और प्रदान बराबर हो जायँगे। ऊष्मा-गतिकी[7] के मूल नियमो के ही आधार पर किरचाफ[8] ने सिद्ध कर दिया था कि यह सन्तुलित अवस्था अद्वितीय होती है और उस कोष्ठक में निबद्ध विकिरण का स्पेक्ट्रमीय वितरण पूर्णत सुनिश्चित प्रकार का होता है। इसके अतिरिक्त विकिरण का यह

1 Probability 2 Assymptotic 3 Predictions 4 The Theory of Black body Radiation and the Quantum of Planck 5 Max Planck 6 Enclosure 7 Thermodynamics 8 Kirchoff

विकिरण केवल कोष्ठ के टेम्परेचर पर ही अवलम्बित होगा। उस पर कोष्ठ की आकृति और विस्तार का या उसमें उपस्थित भौतिक द्रव्य के गुणों का कुछ भी प्रभाव नहीं पड़ता और न इस बात का कोई असर होता है कि कोष्ठ की दीवारें किस द्रव्य की बनी हैं। प्रत्येक टेम्परेचर के लिए यह सन्तुलित विकिरण एक निश्चित रूप का होता है और बहुधा उसे उस टेम्परेचर के 'कृष्ण-वस्तु विकिरण'[1] का अशुद्ध नाम दिया जाता है।

अब सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान के लिए यह आवश्यक हो गया कि किसी भी निश्चित टेम्परेचर के कृष्ण-वस्तु विकिरण के स्पेक्ट्रमीय वितरण की यह प्रागुक्ति कर सके। प्रारम्भ में तो इस समस्या को हल करने के लिए उन उपायों का उपयोग किया गया जो सम्भवतः ऊष्मा-गतिकी के सिद्धान्तों पर अवलम्बित थे और जिनमें इसका कारण सामान्य[illegible]नता बहुत अधिक थी। इस प्रकार पहले तो यह प्रमाणित हो गया कि कृष्ण-वस्तु विकिरण का घनत्व[2] अर्थात् तापरोधी सन्तुलन-युक्त कोष्ठ के भीतर प्रत्येक मात्रक आयतन[3] में उपस्थित विकिरण ऊर्जा का परिमाण परम मापक्रम[4] से नापे गये टेम्परेचर के चतुर्थ घात[5] का अनुपाती होता है। यह स्टीफन-बोल्ट्ज़मान का नियम[6] कहलाता है। इसके बाद अधिक सर्वाधित तर्क के द्वारा वीन[7] ने प्रमाणित किया कि किसी विशेष स्पेक्ट्रमीय आवृत्ति[8] के कृष्ण-वस्तु विकिरण का घनत्व उस आवृत्ति में टेम्परेचर का भाग देने से प्राप्त भजनफल के किसी एक फलन तथा उस आवृत्ति के घन (क्यूब) के गुणनफल का अनुपाती होना चाहिए। किन्तु दुर्भाग्यवश यह फलन वीन के ऊष्मागतिकीय तर्क के द्वारा निर्णीत नहीं किया जा सकता। स्टीफन और वीन के नियमों से विकिरण के संघटन और उसके टेम्परेचर-जनित परिवर्तनों के विषय में तो महत्वपूर्ण बातें ज्ञात हो गयीं और प्रयोगों के द्वारा उनका पूरी तरह सत्यापन भी हो गया किन्तु उनके द्वारा स्पेक्ट्रमीय वितरण के नियम का रूप पूर्णतः निश्चित नहीं हो सका। और अन्त में तो यह भी मालूम हो गया कि केवल ऊष्मागतिकीय धारणाओं के आधार पर इससे अधिक प्रगति हो ही नहीं सकती और स्पेक्ट्रमीय वितरण के नियम के रूप को पूर्णतः निर्णीत करने के लिए यह आवश्यक होगा कि द्रव्य के द्वारा विकिरण के उत्सर्जन और अवशोषण के सम्बन्ध में कुछ परिकल्पनाएँ बनाकर उन्हें इस विवेचन में निविष्ट किया जाय। फलतः ऊष्मागतिकी की ठोस पृष्ठभूमि को छोड़कर परमाणविक परिकल्पनाओं के क्षेत्र में प्रवेश करने का साहस करने की भी आवश्यकता होगी।

1 Black body radiation 2 Density 3 Unit volume 4 Absolute scale 5 Fourth power 6 Stefen Boltzmann Law 7 Wien 8 Frequency

किन्तु इस कार्य में कुछ कठिनाई नहीं हुई क्योंकि विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त ने विशेषकर उसके लोरेन्ट्ज प्रणीत इलैक्ट्रानीय रूप ने द्रव्य के द्वारा विकिरण के उत्सर्जन और अवशोषण की क्रियाओं का ऐसा प्रतिरूप पहले ही प्रस्तुत कर दिया था जो बहुत कुछ सन्तोषजनक दिखाई देता था। वीन के विवेचन में जो फलन अनिर्णीत रह गया था वह इस सिद्धान्त के सूत्रों के उपयोग से तुरन्त ही प्राप्त हो गया। अतः कृष्ण-वस्तु विकिरण का स्पैक्ट्रमीय वितरण भी पूर्णतः निर्णीत हो गया। किन्तु इस सिद्धान्त के परिणामों से बड़ी निराशा हुई। स्पैक्ट्रमीय वितरण का जो नियम प्राप्त हुआ (रेले का नियम[1])—उसका प्रयोगों से समर्थन नहीं हो सका। इस नियम के अनुसार तो आवृत्ति के साथ-साथ स्पैक्ट्रमीय घनत्व में एक-मुखी वृद्धि होनी चाहिए, किन्तु प्रयोगों से स्पष्ट प्रकट हो गया कि स्पैक्ट्रमीय घनत्व पहले तो बढ़ते-बढ़ते किसी विशेष आवृत्ति पर महत्तम मूल्य को प्राप्त कर लेता है, किन्तु उसके बाद आवृत्ति बढ़ने पर वह घटते-घटते नगण्यतः स्वल्प हो जाता है। इस तथ्य को ज्यामितीय भाषा में यों व्यक्त किया जा सकता है कि स्पैक्ट्रमीय घनत्व का निरूपक वक्र घण्टाकार[2] होता है। रेले के नियमानुसार आवृत्ति की वृद्धि के कारण स्पैक्ट्रमीय घनत्व की वृद्धि अनन्त होनी चाहिए थी। इस बात से एक बिल्कुल ही अनहोना परिणाम यह निकला कि प्रत्येक टेम्परेचर पर कृष्ण-वस्तु विकिरण का पूर्ण घनत्व[3] अनन्त होना चाहिए।

सैद्धान्तिक प्रागुक्तियों में और प्रायोगिक तथ्यों के इस विरोध से बड़ी विकट परिस्थिति उत्पन्न हो गयी क्योंकि भौतिकज्ञों ने जितना ही अधिक परिश्रम रेले के नियम के सैद्धान्तिक प्रमाणों पर किया उतना ही अधिक विश्वास उन्हें होता गया कि यह नियम प्राचीन सिद्धान्तों का अनिवार्य परिणाम है। जीन्स[4] ने जब विकिरण-पूर्ण बाक्स में जितनी अप्रगामी तरंगों[5] का अस्तित्व सम्भव हो सकता है उन सब की संख्या का किन्हीं प्रतिष्ठित व्यापक सांख्यिकीय नियमों के द्वारा हिसाब लगाया तब भी रेले का नियम ही प्राप्त हुआ। फलतः रेले के नियम के अतिरिक्त कृष्ण-वस्तु विकिरण के लिए किसी दूसरे प्रयोग-संगत नियम के आविष्कार की कोई भी आशा नहीं रह गयी और यह स्पष्ट हो गया कि यह कार्य प्राकृतिक विज्ञान में सर्वथा नवीन दृष्टिकोण को अपनाए बिना सम्भव नहीं हो सकता। इस क्रान्ति का सम्भव बनाने का श्रेय मैक्स प्लांक को मिला।

1 Rayleigh's Law 2 Bell shaped 3 Total density 4 Jeans 5 Stationary waves

प्लाक ने इस समस्या का पुनर्विवेचन करने का प्रारम्भ जिस परिकल्पना से किया वह यह थी—द्रव्य मे अनेक इलैक्टानिक दोलक[1] विद्यमान होते ह अथात ऐसे इल्क्टान होते ह जो किसी विस्थापनानुपाती बल के प्रभाव स अपने-अपने सतुलन बिन्दु के इधर उधर दोलन कर सकते है। प्लाक ने समतापीय कोष्ठक के इन दोलको मे तथा उन पर पडनेवाले विकिरण में ऊर्जाविनिमय के सतुलन का अध्ययन किया। और चूकि इस सतुलन विकिरण[2] का सघटन कोष्ठ में उपस्थित भौतिक वस्तुओ के गुण धर्मो से स्वतत्र होना चाहिए इसलिए इस विधि के उपयोग स जो परिणाम निकलेगे उनकी यथार्थता भी व्यापक होनी चाहिए। चिर प्रतिष्ठित विधियो स दोलको और विकिरण के ऊर्जा विनिमयो का विश्लेषण करने पर प्लाक को स्वभावत ही रेले का नियम पुन प्राप्त हो गया। किन्तु इस विश्लेषण मे उन्हे यह भी मालूम हो गया कि इस नियम की अयथार्थता का कारण यह है कि दोलको और विकिरण के ऊर्जा विनिमय के चिर प्रतिष्ठित चित्र मे उच्च आवत्तिवाले दोलको के प्रभाव को आवश्यकता से अधिक महत्त्व दिया गया है। वास्तव में सन्तुलन विकिरण और उच्च आवत्तिवाले भौतिक दोलको के ऊर्जा विनिमय के इस महत्त्व के ही कारण आवत्ति के साथ साथ स्पैक्ट्रमीय घनत्व की एक मुखी वद्धि प्रकट होती ह और इसी मे वे उपयुक्त परिणाम निकलते ह जो प्रयोगो द्वारा असत्य और तक द्वारा अविश्वसनीय प्रमाणित हुए है। तब प्लाक के मस्तिष्क में यह प्रतिभापूर्ण विचार उत्पन्न हुआ कि उस सिद्धान्त मे चिरप्रतिष्ठित मान्यताओ से सवथा विपरीत किसी ऐसी धारणा का समाविष्ट करने की आवश्यकता है जो उन उच्च आवत्तिवाले दोलको के प्रभाव को नियत्रित कर सके। अत उन्होने निम्नलिखित विख्यात अभिधारणा बनायी।

"द्रव्य मे स विकिरण-ऊर्जा का उत्सर्जन केवल परिमित[3] मात्राओ मे ही हो सकता है और ये मात्राएँ आवत्ति की अनुपाती होती है।' इस अनुपात का गुणक एक सार्वत्रिक नियतांक[4] होता ह जिसकी विमितीय सरचना[5] ठीक यात्रिक क्रिया[6] की सरचना के समान होनी है। यही प्लाक का सुविख्यात नियतांक h है।

इस अदभुत तथा विरुद्धाभासी परिकल्पना का आश्रय लेकर प्लाक ने पुन तापीय सन्तुलन की समस्या का अध्ययन प्रारम्भ किया और तब उन्हे कृष्ण-वस्तु विकिरण के स्पक्ट्रमीय वितरण के एक नवीन नियम का आविष्कार करने में सफलता मिली। इस नियम के साथ अब उनका नाम जुड गया ह। प्लाक के तक के पूवपक्ष में कोई भी

1 Oscillators 2 Equilibrium radiation 3 Finite 4 Universal constant 5 Dimensional 6 Mechanical action

ऐसी बात नहीं है जो ऊष्मा-गतिकी के नियमों के विरुद्ध हो। अत एक ओर तो प्लांक का सूत्र स्टीफन के तथा वीन के नियमों से असंगत नहीं है, दूसरी ओर उसका रेले के नियम से मेल केवल नीची आवृत्तियों में और ऊँचे टेम्परेचरों पर ही होता है। उच्च आवृत्तियों और नीचे टम्परेचरों पर उसके परिणाम सर्वथा भिन्न प्रकार के हो जाते हैं। यह बात समझना कुछ कठिन नहीं। नीची आवृत्तियों में और ऊँचे टम्परेचरों पर द्रव्य और विकिरण के ऊर्जा विनिमयों में कुछ अतिसूक्ष्म "ऊर्जा-कण" भाग लेते हैं और उनकी संख्या बहुत अधिक होती है। अत सब क्रियाएँ लगभग ऐसे ही होती हैं मानो यह विनिमय सतत[1] प्रकार का ही हो। इसलिए इस क्षेत्र में चिरप्रतिष्ठित विज्ञान के तर्कों से भी लगभग सही परिणाम ही निकल आते हैं। विपरीत इसके, उच्च आवृत्तियों और नीचे टेम्परेचरों पर ऊर्जा विनिमय में भाग लेनेवाले ऊर्जा-कण बड़े-बड़े होते हैं और उनकी संख्या भी कम होती है। अत पूर्ववर्ती तर्क उनके लिए अनुपयुक्त हो जाते हैं। यही कारण है कि उच्च आवृत्तियों और नीचे टेम्परेचरों के लिए प्लांक का स्पैक्ट्रमीय वितरण का नियम रेले के नियम से सर्वथा भिन्न हो जाता है। तापीय सन्तुलनयुक्त कोष्ठ के लिए रेले का नियम तो यह कहता है कि प्रत्येक टम्परेचर पर आवृत्ति की वृद्धि के साथ-साथ स्पैक्टमीय घनत्व में एक सुरीती वृद्धि होती है और यह बात प्रयोग विरुद्ध प्रमाणित हुई है। किन्तु प्लांक के नियम के अनुसार यह घनत्व पहले आवृत्ति के साथ बढ़कर एक उच्चतम मूल्य प्राप्त कर लेता है और उसके बाद घटते घटते अति उच्च आवृत्तियों के लिए उसका मूल्य अनन्तत छोटा हो जाता है। प्लांक के नियम के अनुसार इस घनत्व को आवृत्ति के फलन के द्वारा निरूपित करनेवाला वक्र घंटाकार होता है। फलत यह समझ लेना भी आसान है कि कृष्ण वस्तु विकिरण के पूर्ण घनत्व का मूल्य परिमित ही रहेगा। चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त में जो बहुत बड़ी कठिनाई थी वह इस प्रकार दूर हो गयी।

स्पैक्ट्रमीय वितरण के इस नवीन नियम का उन प्रयोगों के संख्यात्मक परिणामों से मिलान करने पर, जिनकी संख्या और यथार्थता जब से भौतिकज्ञों का ध्यान इस प्रश्न की तरफ आकर्षित हुआ था तभी से बराबर बढ़ती जा रही थी प्लांक को यह प्रमाणित करने में अच्छी सफलता मिली कि वास्तविक तथ्य उनके सिद्धान्त द्वारा प्रस्तुत सूत्र से बिल्कुल ही मिल जाते हैं, यदि उनके नवीन नियतांक $h$ का एक पूर्णत सुनिर्णीत सांख्यिक मान मान लिया जाय। प्लांक के परिकल्पन के अनुसार साधारण

1 Continuous

मात्रका में यह गाम्भिर मान बहुत ही छोटा निकला। यह सचमुच आश्चर्यजनक है कि नियतांक h का गाम्भिर मान पहले ही प्रयत्न में और बहुत कृष्ण-वस्तु विकिरण सम्बन्धी व्याख्या के द्वारा ही इतनी अधिक यथार्थता के साथ निकल आया। इसके बाद तो यह नियतांक h सर्वथा विभिन्न प्रकार की बहुत-सी भौतिक घटनाओं के लिए आवश्यक पाया गया है। अत इस ज्ञान की भी अनेक सर्वथा स्वतन्त्र विधियाँ मालूम हो गयी है। इन उत्तरोत्तर अधिक यथार्थतापूर्ण विभिन्न मापनों से सदैव ऐसे ही मान प्राप्त हुए है जिनमें और प्लाक द्वारा केवल एक ही घटना के द्वारा प्रारम्भ में ही प्राप्त किये हुए मान में बहुत ही कम अन्तर है।

सभवत जिस समय प्लाक ने कृष्ण-वस्तु विकिरण के सिद्धान्त पर अपने मूल लेख लिखे थे उस समय तत्कालीन भौतिकज्ञ तुरन्त ही इस नव घटित क्रान्ति के महत्त्व को अच्छी तरह नहीं समझ पाये थे। निस्सन्देह उस समय उन्होंने प्लाक की परिकल्पना को केवल एक विशेष प्रकार की घटना के सिद्धान्त में सुधार करने की चतुर और रोचक युक्ति मात्र ही समझा होगा और उन्हें इस बात का खयाल ही नहीं हुआ होगा कि यह चमत्कारी परिकल्पना आगे चलकर भौतिक विज्ञान की समस्त चिरप्रतिष्ठित मान्यताओं का कायापलट कर देगी। किन्तु धीरे धीरे प्लाक की परिकल्पना का मौलिक महत्त्व प्रकट होता गया। सैद्धान्तिकों ने समझ लिया कि क्वाटमा की इस परिकल्पना द्वारा प्रस्तुत असततता[1] का मेल उन व्यापक धारणाओं के साथ बैठ ही नहीं सकता जिन पर उस समय तक भौतिक विज्ञान आश्रित रहा था। अत उन धारणाओं के आमूल सशोधन की आवश्यकता उन्हें प्रतीत हुई होगी। केवल एक ही भौतिक तथ्य के अध्ययन से पहली ही नजर में प्रकृति के इस सबसे अधिक मौलिक तथा रहस्यमय नियम के आविष्कार के लिए प्लाक की प्रतिभा और अन्तर्ज्ञान की जितनी भी प्रशसा की जाय वह थोड़ी है। इस अदभुत आविष्कार को हुए चालीस वर्ष से अधिक बीत चुके है किन्तु अब भी उसके प्रच्छन्न मर्म के पूर्ण दर्शन से हम बहुत दूर है और न हम अब तक उसके समस्त परिणामों को ही जान पाये है। मनुष्य की मानसिक प्रगति के इतिहास में प्लाक के नियतांक h की विजय तिथि अवश्य ही चिरस्मरणीय रहेगी।

## ३ प्लाक की परिकल्पना का विकास तथा क्रिया का क्वाटम[2]

तापीय सन्तुलन युक्त विकिरण के सिद्धान्त मे प्लाक के तर्क का आधार यह

1 Discontinuity 2 Development of the Hypothesis of Planck and the Quantum of Action

मानता था कि द्रव्य में और ईथर में स्थायिक साम्य विद्यमान रहता है और इसी कारण स्पष्टतः ही द्रव्य और उस पर पड़नेवाले विकिरण में ऊर्जा का विनिमय होता है। किन्तु यदि साम्य स्थापित होता हो जिसमें किसी [illegible] अनुसार किन्तु की ओर आवर्तिक गतियों का विश्लेषण का अनुपात हो तो बहुत ही सरल गुण यह होता है कि उसके दोलनों की आवृत्ति आयाम[1] पर अवलम्बित नहीं होती। दूसरे शब्दों में प्रत्येक सरल-दोलक[2] की एक अद्वितीय आवृत्ति होती है और चाहे उसके दोलनों की गति या आयाम कितना ही अधिक क्यों न हो, यह उतनी ही बनी रहती है। इसलिए प्लांक के मतानुसार प्रत्येक सरल-दोलक के लिए एक ऊर्जा का क्वाण्टम निश्चित किया जा सकता है जिसका परिमाण उस दोलक की आवृत्ति और नियतांक h के गुणनफल के बराबर माना जा सकता है। इस धारणा का अविकसित निश्चित अर्थ यह है कि जब भी किसी सरल-दोलक और विकिरण में ऊर्जा का विनिमय होता है तब जितनी ऊर्जा को वह दोलक ग्रहण करता है या देता है उसका परिमाण परिमित होता है और उस दोलक के क्वाण्टम के बराबर होता है। किन्तु ऊर्जा के क्वाण्टम की इस परिकल्पना में असुविधा यह है कि यह केवल सरल आवर्त[3] दोलकों के लिए ही उपयोगी है। यदि हम किसी भी असरल यांत्रिक निकाय पर विचार करें जो आवर्त गति से दोलन कर सकता हो तो साधारणतः उसकी आवृत्ति गति की तीव्रता पर भी अवलम्बित रहती है। अतः ऐसे दोलक के लिए कोई सुनिश्चित ऊर्जा का क्वाण्टम हो ही नहीं सकता। इसलिए प्लांक ने क्वाण्टमों की परिकल्पना को ऐसे व्यापक रूप में प्रस्तुत करने की आवश्यकता का अनुभव किया जो समस्त विभिन्न प्रकार के यांत्रिक निकायों के लिए उपयोगी हो सके और जिससे सरल-दोलक के लिए भी ऊर्जा के क्वाण्टम की उपर्युक्त परिभाषा प्राप्त हो सके। जब उन्होंने ऐसे व्यापक रूप को प्राप्त करने का प्रयत्न किया तब उन्होंने देखा कि नियतांक h की विमितियाँ[4] वही होती हैं जो क्रिया[5] की होती हैं (अर्थात् जो ऊर्जा और समय के गुणनफल की या संवेग और लम्बाई के गुणनफल की होती है) और यह क्रिया की मौलिक मात्रा[6] के समान ही काम करता है। अतः उसे एक प्रकार की क्रिया का परमाणु समझा जा सकता है। यदि कोई आवर्तगति ऐसी हो जो एक ही चर[7] राशि के द्वारा निर्णीत हो सके (यथा किसी कणिका की रैखिक गति) तो न्यूनतम क्रिया के सिद्धान्त में वर्णित मापरट्यूइस की क्रिया के अनुकल की गणना हम पूरे एक आवर्तकाल[8] के लिए कर

1 Amplitude 2 Harmonic oscillator 3 Simple harmonic 4 Dimensions 5 Action 6 Elementary quantity 7 Variable 8 Period

सकते है। यह अनुकूल उस आवर्त-गति का लाक्षणिक नियतांक' होगा। इस नियतांक का प्लांक के नियतांक h के किसी पूर्ण अपवर्त्य' के बराबर रख देने से हम क्वाटम परिकल्पना की एक नयी परिभाषा प्राप्त हो जाती है और इससे लाभ यह होता है कि यह परिभाषा एक ही चर राशि द्वारा निर्दिष्ट किसी भी आवर्त गति के लिए उपयोगी होती है। और हम यह भी आसानी से प्रमाणित कर सकते है कि रेखिक दोलक के विशेष प्रसंग में इस नयी परिभाषा से प्लांक की पूर्ववर्ती परिभाषा भी पुन प्राप्त हो जाती है। यह कहा जा सकता है कि अपने सिद्धान्त को व्यापक रूप देने के लिए प्लांक को ऊर्जा के क्वाटम की अपनी प्रारम्भिक कल्पना का त्याग करना पड़ा और उसके स्थान में क्रिया के क्वाटम की परिकल्पना को प्रतिस्थापित करना पड़ा।

क्वाटम परिकल्पना की यथार्थ परिभाषा में क्रिया का प्रादुर्भाव युक्तिसंगत भी था और आश्चर्यजनक भी। युक्तिसंगत तो यो था कि चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी ने पहले ही हैमिल्टन के सिद्धान्त में तथा न्यूनतम क्रिया के सिद्धान्त में क्रिया का महत्त्व प्रकट कर दिया था और वैश्लेपिक यान्त्रिकी के सिद्धान्तों ने जिनमें क्रिया का उपयोग होता है पहले ही क्वाटमीकरण के लिए उपयुक्त ढाचे का निर्माण कर दिया था। इसके विपरीत यह आश्चर्यजनक भी था क्योंकि भौतिक विज्ञान की दृष्टि से यह समझ में आना बहुत कठिन है कि क्रिया के जैसी राशि की अमूर्तत्व इतना सुस्पष्ट होने पर भी और उस पर अविनाशित्व का कोई प्रमेय लागू नही होने पर भी उसमे एक प्रकार की परमाणुकता संभव हो सकती है। क्रिया सदा दो प्रकार की राशियो के गुणनफल के द्वारा व्यक्त की जाती है जिनमें से एक तो ज्यामितीय कोटि की होती है और दूसरी गत्यात्मक कोटि की। प्रत्येक पहली प्रकार की राशि दूसरी प्रकार की किसी एक राशि के साथ सम्बन्धित होती है और ये ही दोनो राशियाँ वैश्लेपिक यान्त्रिकी की वैधानिकत संयुग्मित' चर राशियाँ होती है। इस प्रकार मापरट्यूइस की न्यूनतम क्रिया का अनुकूल समय का गमपथानुवर्ती निश्र अनुकल' हो जाता है। [illegible] उपस्थिति के द्वारा व्यक्त क्रिया की परमाणुकता से तब यह प्रकट होता है कि [illegible] और [illegible] के सम्बन्ध में और [illegible] गत्यात्मक घटना [illegible] [illegible] [illegible] करने का प्रयत्न करना है [illegible] [illegible] विद्यमान होता है। [illegible] [illegible] का स्वरूप [illegible] गया है और यह [illegible] [illegible]

1 Characteristic Constant 2 Whole multiple [illegible] 3 Canonically conjugate 4 The Integral

से सर्वथा विपरीत है। यही उस परिकल्पना की परम शान्तिकारिता का कारण है जिसे प्लांक ने अपनी प्रतिभा के जोर से कृष्ण-वस्तु विकिरण के सिद्धान्त का आधार बनाया था।

प्लांक ने सिद्धांततः यह धारणा बनायी थी कि द्रव्य में से विकिरण का उत्सर्जन सदा परिमित मात्राओं में अथवा कण रूप में ही हो सकता है। किन्तु इसका यह अनिवार्य अर्थ नहीं है कि उत्सर्जित हो जाने के बाद भी विकिरण की संरचना असतत ही रहती है क्योंकि इस सिद्धान्त का विकास दो भिन्न दिशाओं में किया जा सकता है और उनके द्रव्य के द्वारा विकिरण के अवशोषण की प्रक्रिया के सम्बन्ध में दो परस्पर विरोधी धारणाएँ बन सकती हैं। पहली धारणा तो यह हो सकती है कि द्रव्य के मूल अवयव (यथा इलैक्ट्रानिक दोलक) गति की दृष्टि से केवल उन्हीं अवस्थाओं में विद्यमान रह सकते हैं जिनमें उनकी ऊर्जा क्वाटमित मान की होती है और इससे तुरन्त ही यह भी परिणाम निकलता है कि अवशोषण और उत्सर्जन दोनों ही प्रक्रियाओं में द्रव्य और विकिरण का ऊर्जा विनिमय केवल क्वाटमा के द्वारा ही संभव होता है। यही धारणा सबसे अधिक सुस्पष्ट और निष्कपट मालूम होती है और अन्त में इसी की विजय भी हुई थी। किन्तु इसमें से यह परिणाम भी अनिवार्यतः निकलता है कि स्वयं विकिरण की संरचना भी असतत होनी है। अपनी विचारधारा के इस भीषण परिणाम से डरकर प्लांक दीर्घ काल तक इस बात का प्रबलतम प्रयत्न करते रहे कि क्वाटम सिद्धांत को ऐसे दूसरे रूप में प्रस्तुत कर सकें जो इतना अधिक उग्र न हो और जिसमें केवल उत्सर्जन ही असतत माना जाय, किन्तु अवशोषण सतत ही बना रहे अर्थात् द्रव्य आपतित विकिरण ऊर्जा के कुछ अंश का संचय तो सतत रूप में ही कर सके, किन्तु उसमें से उत्सर्जन रुक रुककर परिमित मात्रावाले अविभाज्य ऊर्जा-पुंजों के रूप में ही हो सके। प्लांक के इस प्रयत्न के उद्देश्य को हम आसानी से समझ सकते हैं। वे विकिरण की सततता को अक्षुण्ण रखना चाहते थे क्योंकि जो तरंग सिद्धांत असंख्य अत्यन्त यथार्थतापूर्ण प्रयोगों के द्वारा सत्यापित हो चुका था उससे संगत विकिरण का केवल यही रूप हो सकता है। यद्यपि प्लांक ने क्वाटम सिद्धांत के इस रूप को प्रस्फुटित करने में अपना समस्त बुद्धि कौशल लगा दिया तथापि भौतिक विज्ञान की उत्तरकालीन प्रगति ने इस सिद्धांत की जड़ें ही उखाड़ फेंकीं विशेषकर प्रकाश-वैद्युत प्रभाव[1] की व्याख्या ने और बोह्र के परमाणु की संरचना के सिद्धांत की सफलता ने। इनमें से पहली समस्या के सम्बन्ध

1 Photo electric effect

में जब हम यह बतायेंगे कि प्रकाश-वैद्युत प्रभाव की क्वांटम सिद्धान्तानुसार व्याख्या करके आइन्स्टाइन किस प्रकार पुनः प्रकाश के कणिका सिद्धान्त की ओर आकृष्ट हो गये।

## ८ प्रकाश-वैद्युत प्रभाव और प्रकाश की असतत संरचना[1]

प्रकाश-वैद्युत प्रभाव का आविष्कार और उसका अध्ययन भौतिकज्ञों के लिए बड़ा ही अधिक विस्मय का कारण हुआ। यह घटना इस प्रकार है। जब किसी द्रव्य पर काफी छोटे तरंग-दैर्घ्य का विकिरण पड़ता है तो बहुधा उसमें से तीव्रगामी इलेक्ट्रान निकलने लगते हैं। इस घटना का मुख्य लक्षण यह है कि इन निष्कासित इलेक्ट्रानों की ऊर्जा केवल आपतित विकिरण की आवृत्ति पर ही अवलम्बित होती है। उस पर विकिरण की तीव्रता का कुछ भी असर नहीं होता। इन इलेक्ट्रानों की केवल संख्या ही आपतित विकिरण की तीव्रता पर अवलम्बित होती है। इन प्रकाश-वैद्युत सम्बन्धी नियमों के कारण इन प्रकाशज इलेक्ट्रानों[3] अर्थात् प्रकाश-वैद्युत इलेक्ट्रानों के उत्सर्जन की मूल प्रक्रिया की व्याख्या अत्यन्त कठिन हो गयी क्योंकि सन् १९०० में प्रकाश के तरंग सिद्धान्त की जो मूल धारणाएँ अनिवार्य मालूम देती थीं उनके अनुसार यही परिणाम निकलता था कि विकिरण-ऊर्जा प्रकाश-तरंग की पूरी लम्बाई में समान रूप से वितरित रहती है और जिस इलेक्ट्रान पर प्रकाश-तरंग पड़ती है वह उसकी विकिरण ऊर्जा को सतत रूप में ही ग्रहण करता है। फलतः एक सेकंड में जितनी ऊर्जा उसमें प्रवेश करती है उसकी मात्रा आपतित तरंग की तीव्रता की अनुपाती होनी चाहिए और उस तरंग-दैर्घ्य पर बिल्कुल ही अवलम्बित नहीं होना चाहिए। इसी कारण प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के नियमों की व्याख्या देना इतना कठिन मालूम पड़ता था।

सन् १९०५ में आइन्स्टाइन के मन में इस विलक्षण विचार ने जन्म लिया कि प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के नियमों से ऐसा प्रकट होता है कि प्रकाश की संरचना भी असतत है और क्वांटममयी है। प्लांक की परिकल्पना अपने प्रथम और प्रत्यक्षतम रूप में यह है कि द्रव्य के द्वारा विकिरण का अवशोषण केवल ऐसी परिमित मात्राओं में ही हो सकता है जो आवृत्ति की अनुपाती होती है और इस परिकल्पना का ठोस आधार प्लांक के कृष्ण-वस्तु विकिरण के सिद्धान्त की सफलता से प्रकट भी हो चुका था। किन्तु यदि यह परिकल्पना वास्तव में सत्य हो तो इस बात की भी सम्भावना बहुत अधिक दिखाई देगी कि विकिरण की जो कणमयी रचना उत्सर्जन और अवशोषण के क्षणों पर प्रकट होती है वही उस मध्यवर्ती

1 The photo electric Effect and the Discontinuous Structure of Light 2 Intensity 3 Photo electrons 4 Emission

काल में भी विद्यमान होनी चाहिए जब विकिरण का प्रचरण होता है। अत आइन्स्टाइन ने यह धारणा बनायी कि समस्त एक-वर्ण[1] विकिरण ऐसे कणों में विभक्त रहता है जिनकी ऊर्जा की मात्रा आवृत्ति की अनुपाती होती है। और स्वभावत प्लाक का नियताक ही इस अनुपात का गुणाक होता है। इस धारणा से प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के नियमों को समझना आसान हो गया। जब द्रव्य में विद्यमान किसी इलेक्ट्रान पर प्रकाश का एक कण पड़ता है तब वह इलैक्टान उस कण की ऊर्जा का अवशोषण करके द्रव्य के बन्धन से मुक्त हो जाता है। शर्त केवल यह है कि प्रकाश-कण की ऊर्जा की मात्रा उस इलैक्टान का द्रव्य में से बाहर निकालने के लिए आवश्यक कार्य की मात्रा से अधिक हो। प्रकाश के प्रभाव से इस प्रकार निकाले हुए इलेक्ट्रान में जो गतिज ऊर्जा प्रकट होगी उसका मान अवशोषित प्रकाश कण की ऊर्जा में से वह ऊर्जा बाकी निकाल देने पर प्राप्त होगा जो इलैक्टान को द्रव्य में से बाहर निकालने के कार्य में खर्च हो गयी हो। अत यह गतिज ऊर्जा आपतित विकिरण की आवृत्ति का रैखिक फलन होगी और उस ऊर्जा को आवृत्ति के फलन के रूप में निरूपित करनेवाली रेखा की प्रवणता[2] का सांख्यिक मान प्लाक के नियताक के बराबर होगा। ये सब प्रागुक्तियाँ प्रयोगों में पूर्णत सगत निकली हैं। सबसे पहली प्रागुक्ति तो यह थी कि यदि आपतित प्रकाश की आवृत्ति में परिवर्तन किया जाय तो प्रकाश-वैद्युतिक प्रभाव केवल तब ही प्रकट होगा जब आवृत्ति किसी निर्दिष्ट मान से अधिक हो जाय। इस निर्दिष्ट मान को प्रकाश-वैद्युत देहली[3] कहते हैं। दूसरे आवृत्ति की जिस परिसीमा में यह प्रभाव प्रकट होता है उसमें प्रकाशज इलैक्ट्रानों की गतिज ऊर्जा का मान आपतित प्रकाश की आवृत्ति का रैखिक फलन होता है और यदि इस रैखिक आश्रितता को रेखा चित्र में निरूपित करनेवाली रेखा खीची जाय तो उसकी प्रवणता-द्योतक संख्या प्लाक के नियताक के बराबर निकलती है। स्पष्टत ही प्रकाश की इस कणमयी धारणा में प्रकाश की तीव्रता के द्वारा उन ऊर्जा-कणों की संख्या की गणना होती है जो प्रदीप्त वस्तु के पृष्ठ पर प्रति सेकड प्रति वर्ग सेण्टीमीटर पड़ते हैं। अत उस वस्तु के भीतर प्रति सेकड जितनी प्रकाश-वैद्युत क्रियाएँ सम्पन्न होती हैं उनकी संख्या भी तीव्रता की अनुपाती होना आवश्यक है।

यही प्रकाश-वैद्युत प्रभाव की वह व्याख्या है जो आइन्स्टाइन ने १९०५ में प्रस्तुत की थी। उन्होंने इसका नाम प्रकाश-क्वाटमों[4] का सिद्धान्त रखा था। आज हम इस

1 Monochromatic 2 Slope 3 Threshold 2 Lightquanten

फोटान सिद्धात[1] कहते है क्योकि प्रकाश के कणो का नाम अब फोटान रख दिया गया है। पिछले तीस वर्षों में फोटान के अस्तित्व के बहुत से प्रमाण मिले है। केवल इतना ही नही कि दृश्य प्रकाश के प्रकाश-वैद्युत प्रभाव का ही प्रयोगात्मक अध्ययन उत्तरोत्तर अधिक यथाथता से किया गया हो और इससे ही आइन्स्टाइन द्वारा आविष्कृत अनुसधान का समर्थन हुआ हो किन्तु एक्स किरणो तथा गामा किरणो मे उत्पन्न प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के अध्ययन ने तो फोटान सिद्धात के सत्यापन को और भी अधिक यथार्थ और सुस्पष्ट कर दिया है। एक्स किरणो और गामा किरणो की आवृत्तिया दृश्य प्रकाश की आवृत्तिया की अपेक्षा बहुत बडी होती है। अत इनके प्रत्येक फोटान द्वारा सवाहित ऊर्जा की मात्रा भी बहुत बडी होती है। और विकिरण प्रदीप्त पदार्थ मे बहुत गहरे और मजबूती से जमे हुए परमाणुओ मे से भी ये फोटान अपने प्रकाश वैद्युत प्रभाव के द्वारा इलैक्ट्रानो को खीच निकालने में समर्थ हो जाते है। और चूकि एक्स किरणो के स्पक्टम के अध्ययन से हम किसी भी ज्ञात गुण धर्मवाले परमाणु मे से आभ्यन्तरिक[2] इलैक्ट्रान को पृथक करने के लिए आवश्यक कार्य का परिकलन बहुत अधिक यथार्थता पूर्वक कर सकते है इसलिए इन किरणो के द्वारा प्रकाश वैद्युत इलैक्ट्रान के निष्कासन के लिए आवश्यक ऊर्जा का परिकलन भी दृश्य प्रकाश की अपेक्षा अधिक यथार्थता पूर्वक हो सकता है। अत एक्स किरणो और गामा किरणो के प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के अध्ययन के द्वारा हम आइन्स्टाइन के प्रकाश-वैद्युत समीकरण की यथार्थता की बहुत कडी परीक्षा कर सके है और इससे सरयात्मक सत्यापन में पूर्णता प्राप्त हो गयी है और प्रकाश-कणो के सिद्धात की अच्छी पुष्टि भी हुई है। (मारिस द ब्रागली[3] एलिस[4] थीबो[5])

१९२३ मे एक और घटना का आविष्कार हुआ था और इसमे फोटान के अस्तित्व का एक नया प्रमाण मिला है। यह काम्पटन प्रभाव[6] है। अब हम इसके विषय मे कुछ कहना चाहते है। यह तो विदित ही है कि जब विकिरण किसी भौतिक वस्तु पर पडता है तब सामान्यत उसकी ऊर्जा का कुछ अश प्रकीर्णित[7] विकिरण के रूप मे सब दिशाओ में फैल जाता है। विद्युत चुम्बकीय सिद्धात के अनुसार इस प्रकीर्णन का कारण यह समझा जाता था कि आपतित तरग के वैद्युत बल क्षेत्र के प्रभाव से उस वस्तु मे उपस्थित इलैक्ट्रानो मे प्रणोदित दोलन[8] होने लगते है और तब इन इलैक्ट्रानो मे से क्षीण द्वैतीयिक[9] गोलीय तरगे उत्पन्न होती है। इन्ही के द्वारा प्राथमिक[10] तरग द्वारा

1 Photon Theory 2 Interior 3 Maurice de Broglie 4 Ellis 5 Thibaud 6 Compton Effect 7 Scattered 8 Forced oscillation 9 Secondary 10 Primary

रामी हुई ऊर्जा का कुछ अंश सब दिशाओं में प्रकीर्णित हो जाता है। इस व्याख्या के अनुसार किसी एक-वर्ण[1] प्राथमिक तरंग के प्रभाव से उत्पन्न प्रकीर्णित विकिरण का आवृत्ति ठीक उसी प्राथमिक तरंग की आवृत्ति के बराबर होनी चाहिए। बहुत दिन काल तक तो प्रकीर्णन का यह विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त इन घटनाओं की व्याख्या के लिए पूर्णत उपयुक्त ही प्रमाणित हुआ—पहले तो प्रकाश के सम्बन्ध में और फिर एक्स किरणों के सम्बन्ध में भी। इस सिद्धान्त की प्रागुक्तियों का यथार्थतापूर्ण सत्यापन भी हो गया। किन्तु जब द्रव्य के द्वारा एक्स किरणों के प्रकीर्णन का अध्ययन अधिक सूक्ष्मता से किया गया तब मालूम हुआ कि विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त द्वारा प्राप्त अपरिवर्तित आवृत्ति के प्रकीर्णन के साथ ही साथ एक दूसरी प्रकार का प्रकीर्णन भी उत्पन्न होता है जिसकी आवृत्ति उससे कुछ कम होती है और जिसका अस्तित्व चिरप्रतिष्ठित तर्क के द्वारा समझ में आ ही नहीं सकता। इस नयी घटना की वास्तविकता को सुनिश्चित रूप से प्रमाणित करने का, उसके नियमों के सूक्ष्म अध्ययन का और उसकी व्याख्या प्रस्तुत करने का महत्वपूर्ण श्रेय अमेरिकन भौतिकज्ञ ए० एच० काम्पटन[2] को प्राप्त हुआ था। काम्पटन द्वारा प्रेक्षित महत्त्वपूर्ण तथ्य यह था कि कम आवृत्ति के प्रकीर्णित विकिरण की आवृत्ति प्रकीर्णन-कोण[3] के अनुसार तो परिवर्तित होती है, किन्तु प्रकीर्णक वस्तु की प्रकृति पर अवलम्बित नहीं होती। काम्पटन को और लगभग उसी समय डिबाई[4] को यह बात सूझी कि यदि इस परिवर्तित आवृत्ति के प्रकीर्णन को आपतित फोटान और द्रव्य के अन्तर्वर्ती इलैक्ट्रान—इन दोनों कणों की टक्कर मान लिया जाय तो इस घटना की सन्तोषजनक व्याख्या हो सकती है। टक्कर के क्षण पर फोटान और इलैक्ट्रान के बीच में ऊर्जा का तथा संवेग का विनिमय होता है और चूंकि सामान्यत फोटान की तुलना में इलक्ट्रान लगभग अचल समझा जा सकता है इसलिए सदैव फोटान की ही ऊर्जा घट जाती है और इलक्ट्रान की बढ़ जाती है। किन्तु फोटान की आवृत्ति उसकी ऊर्जा की अनुपाती होती है। अत टक्कर के क्षण पर फोटान की आवृत्ति भी घट जाती है। ऊर्जा के तथा संवेग के अविनाशित्व के प्रमेयों पर ही यह सिद्धान्त आधारित है और इसके द्वारा प्रकीर्णन-कोण के परिवर्तन के फल के रूप में हम प्रकीर्णित फोटानों की आवृत्तियों को यथार्थतापूर्वक मालूम कर सकते हैं। प्रयोगों के द्वारा ये ही परिकलित आवृत्तियाँ प्रेक्षित भी हुई थीं। प्रकीर्णक पदार्थ की प्रकृति से इस घटना की स्वतन्त्रता—कम-से-कम जहाँ तक तरं

1 Mono chromatic　— \ H　Compton　3 Angle of Scattering
4 Debye

द्रव्य के परिवर्तन का सम्बन्ध है—इस बात से स्पष्ट हो जाती है कि यह घटना केवल द्रव्यद्वारा के गुणों पर ही अवलम्बित होती है और ये द्रव्यद्वारा उनसे भौतिक वस्तुओं में सर्वत्र विद्यमान होते हैं। इस काम्पटन प्रभाव सिद्धान्त ने काम्पटन प्रभाव के सब आवश्यक लक्षणों की व्याख्या इतनी पूर्ण और सफल रीति से कर दी कि इसके द्वारा फोटान सिद्धान्त को भी आश्चर्यजनक समर्थन प्राप्त हो गया।

फोटानों की धारणा के समर्थन में रामन प्रभाव[1] का आविष्कार भी प्रस्तुत किया जा सकता है। यह आविष्कार काम्पटन प्रभाव के आविष्कार के थोड़े ही समय पश्चात् हुआ था। रामन प्रभाव में भी परिवर्तित आवृत्ति का प्रकीर्णन होता है। किन्तु इसमें और काम्पटन प्रभाव में बहुत गहरा भेद यह है कि इसमें प्रकीर्णन के कारण होनेवाला आवृत्ति परिवर्तन मूलतः प्रकीर्णक वस्तु की प्रकृति पर अवलम्बित होता है। इसके अतिरिक्त बहुधा इसमें कुछ प्रकीर्णन ऐसा भी होता है जिसमें आवृत्ति बढ़ जाती है। किन्तु घटी हुई आवृत्तिवाले प्रकीर्णन की अपेक्षा बढ़ी हुई आवृत्तिवाले प्रकीर्णन की तीव्रता बहुत ही कम होती है। फोटान सिद्धान्त इस घटना के मूल लक्षणों की भी बहुत अच्छी व्याख्या कर देता है। विशेषकर घटी हुई आवृत्तिवाले रामन प्रभाव की अधिकता का कारण तो इस सिद्धान्त से तुरन्त समझ में आ जाता है। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं पर आधारित सिद्धान्त इस अधिकता का कारण नहीं बता सकते थे।

संक्षेप में जिस परिकल्पना में प्रकाश ऊर्जा की संरचना कणिकामय मानी गयी है वह पिछले तीस वर्षों में बड़ी उपयोगी प्रमाणित हुई है और अब इसमें कोई सन्देह नहीं रह गया है कि इससे भौतिक वास्तविकता का एक आवश्यक पक्ष प्रकट हो गया है। किन्तु इसके कारण कुछ कठिनाइयाँ भी उत्पन्न हो गयी हैं और जब से इस विषय पर आइन्स्टाइन के प्रथम लेख प्रकाशित हुए थे तभी से इसके विरुद्ध आक्षेपों की भी कमी नहीं रही है। सबसे पहले तो जिस तरंग सिद्धान्त की सत्यता का बहुसंख्यक भौतिक प्रकाश-वैज्ञानिक प्रयोगों के द्वारा अत्यन्त यथार्थतापूर्वक हो चुका है उसके साथ प्रकाश की संरचना की असततता का सामंजस्य कैसे स्थापित किया जा सकता है? जब व्यतिकरण[2] के प्रयोगों से यह प्रकट होता है कि कई मीटर लम्बी समान तरंगावलि का अस्तित्व सम्भव है तब हम प्रकाश के अविभाज्य कणों के अस्तित्व की कल्पना कैसे कर सकते हैं? जैसा लारेंटज ने प्रमाणित कर दिया है प्रकाश ऊर्जा को आकाश के विभिन्न विन्दुओं पर कण रूपमें पुंजित मान लेने पर यह सम्भव नहीं है कि प्रकाशीय यंत्रों (यथा दूरबीनों)

1 Raman effect 2 Interference

की विभेदनशक्ति[1] सम्बन्धी नियमों या युक्ति-संगत अर्थ समझ में आ सके। और व्यतिकरण के या अस्तित्व को ही हम कैसे समझ सकेंगे ? इसमें सन्देह नहीं कि यह कल्पना करना सम्भव है कि किसी विशेष प्रकार से संघटित व्यूह के रूप में प्रकाशकणों की बहुत बड़ी संख्या के यौगपदिक आगमन के द्वारा और उनकी पारस्परिक प्रतिक्रिया के कारण वैसी ही आवृत्तियाँ प्रकट हो सकती है जैसी व्यतिकरण में दिखाई देती है। किन्तु उस दशा में व्यतिकरण की घटनाओं का प्रकाश की तीव्रता पर अवलम्बित होना चाहिए और यदि यह प्रकाश इतना मन्द हो जाय कि व्यतिकरणमापी[2] में औसत रूप में किसी भी समय एक फोटान से अधिक विद्यमान न रहे तो व्यतिकरण का तो लोप ही हो जायगा। ऐसा प्रयोग सबसे पहले टेलर[3] ने किया था और उसका परिणाम यह निकला कि आपतित प्रकाश कितना ही मन्द क्यों न हो जाय व्यतिकरण की घटना में कोई परिवर्तन नहीं होता। किन्तु स्पष्टतः ही इसके लिए आवश्यक शर्त यह है कि फोटो के प्लेट पर प्रकाश काफी लम्बी देर तक पड़ता रहे। इससे प्रमाणित हो जाता है कि प्रत्येक फोटान अकेला ही व्यतिकरण की घटना को उत्पन्न कर सकता है। यदि फोटानों को एक ही बिन्दु पर अवस्थित और अन्तर्यसम्बद्ध कण समझा जाय तो यह बात बिल्कुल ही समझ में नहीं आ सकती।

और भी दूसरी आपत्तियाँ हैं जिनसे प्रकट हो जाता है कि विकिरण की विशुद्ध कणमूलक धारणा को स्वीकार करना कितना कठिन है। पहले तो प्रकाश के कणों की जो परिभाषा आइन्स्टाइन ने दी है स्वयं उसी में एक अकणीय अवयव "आवृत्ति" विद्यमान है। विकिरण के विशुद्ध कणमय चित्रण में किसी आवर्तत्व और आवृत्ति का समावेश नहीं किया जा सकता और वास्तव में आइन्स्टाइन की परिभाषा में जिस आवृत्ति का कथन है वह तो तरंग सिद्धान्त की ही आवृत्ति है जिसका मान व्यतिकरण और विवर्तन की घटनाओं के द्वारा ही प्राप्त किया जाता है। यह तो एक प्रकार का पुल है जिसके द्वारा प्रकाश के दोनों पक्ष जोड़ दिये गये हैं—एक तो फ्रेनल[4] के समय से सुपरिचित तरंग पक्ष और दूसरा प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के आविष्कार से पुनरुज्जीवित कण-पक्ष। किन्तु यह कहना पूर्णतः यथार्थ नहीं होगा कि प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के आविष्कार से पहले कोई भी बात ऐसी नहीं थी जिसके कारण हमें प्रकाश की कणमूलक धारणा का सहारा लेना पड़ता। हम देख ही चुके हैं कि सरल रेखात्मक प्रसरण, दर्पणों से परावर्तन और सामान्यतः समस्त किरणमय ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान में

1 Resolving power 2 Interferometer 3 Taylor 4 Fresnel

कहीं-कहीं हमारा ध्यान अनायास ही कण-भौतिकी¹ सिद्धान्त की ओर आकृष्ट होता था। किन्तु जब प्रकाश के सिद्धान्त ने इन समस्त घटनाओं की तरंगमूलक व्याख्या प्रस्तुत कर दी तब ऐसा जान पड़ा था कि कणमूलक धारणा का अब कोई भी उपयोग नहीं रह गया है। प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के आविष्कार से फिर प्रकाश की इस धारणा पर लौट आने की आवश्यकता प्रतीत हुई किन्तु उसी समय आइन्स्टाइन के समीकरण के रूप से ही यह भी प्रकट हो गया कि अब तो कणमूलक और तरंगमूलक धारणाओं का ऐसा गठबन्धन करने की आवश्यकता है जिससे उस समीकरण के दोनों पक्षों का कुछ भौतिक अर्थ हो सके।

इस प्रसंग में एक और भी अधिक गम्भीर कठिनाई की ओर ध्यान दिलाना आवश्यक है। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं में किसी कण की ऊर्जा पूर्णतः निर्णीत मात्रावाची राशि समझी जाती थी। दूसरी ओर विकिरण के सिद्धान्त में विकिरण को हम कभी भी एकवर्ण नहीं मान सकते। उसमें सदा ही ऐसे अवयव विद्यमान रहते हैं जिनकी आवृत्तियाँ एक छोटे स्पेक्ट्रमीय अन्तराल में व्याप्त रहती हैं। यह अन्तराल अत्यन्त छोटा तो हो सकता है किन्तु उसका विस्तार बिल्कुल शून्य नहीं हो सकता। प्लांक ने अपने विकिरण सिद्धान्त के विवेचन में इस तथ्य पर बहुत जोर दिया था। इस लिए आइन्स्टाइन के समीकरण में प्रकाश-कण की ऊर्जा को चिर प्रतिष्ठित तरंग की आवृत्ति और h के गुणनफल के बराबर मानने के कारण यह समीकरण कुछ विरुद्धाभासी हो गया है क्योंकि वह एक सुनिर्णीत राशि को ऐसी राशि के बराबर बना देता है जो स्वयं सुनिर्णीत नहीं है। बाद में तरंग-यांत्रिकी² के विकास से ही इस कठिनाई का वास्तविक अर्थ स्पष्ट हो सका है।

संक्षेप में यद्यपि प्रकाश-वैद्युत प्रभाव और काम्पटन प्रभाव की व्याख्या के लिए फोटानों की परिकल्पना की उपयोगिता चमत्कारी है तथापि उससे विकिरण का विशुद्ध कणिकामूलक सिद्धान्त नहीं बनाया जा सकता। इसके लिए किसी अधिक व्यापक सिद्धान्त की आवश्यकता है जो विकिरण का ऐसा स्वरूप दे सके जो कणिकामय भी हो और साथ ही साथ तरंगमय भी हो तथा जिसमें इन दोनों लक्षणों का सम्बन्ध आइन्स्टाइन के समीकरण द्वारा व्यक्त हो सके। जब हम इस प्रश्न पर विचार करेंगे कि तरंग-यांत्रिकी ने इन दोनों विरोधी लक्षणों में सामंजस्य स्थापित करने का प्रयत्न कैसे किया ? और इस कार्य में उसे कितनी सफलता मिली है।

1 Ballistic 2 Wave mechanics

## ५ क्वाटम-परिकल्पना के प्रथम उपयोग[1]

प्लाक के कृष्ण-वस्तु विकिरण के सिद्धान्त और आइन्स्टाइन के प्रकाश-क्वाटम सिद्धात की सफलता से जिस क्वाटम-परिकल्पना का प्रबल समर्थन हो गया था उसे विविध प्रकार के अनेक क्षेत्रों में अपनी उपयोगिता प्रमाणित करने में देर नहीं लगी। यहाँ हम इसके कई उदाहरण देंगे।

हम देख चुके है कि सास्यिकीय यान्त्रिकी का एक परिणाम ऊर्जा के सम विभाजन[2] का प्रमेय है। इस प्रमेय का व्यापक रूप यह है कि "बहु-सख्यक अवयवोवाले किसी यान्त्रिक निकाय में जिसका टम्परेचर सर्वत्र एक-सा हो और जिसमें तापीय सन्तुलन भी विद्यमान हो, तापीय सक्षोभ[3] की ऊर्जा स्वतन्त्रता की विभिन्न कोटियों[4] में बराबर बराबर विभाजित रहती है। चिर प्रतिष्ठित सास्यिकीय यान्त्रिकी के नियमों के कठोर अनुप्रयोग से निगमित इस प्रमेय का प्रायोगिक सत्यापन अनेक बार बहुत अच्छी तरह हो चुका है। इससे गैस के अणुओं और परमाणुओं की मध्यमान गतिज ऊर्जाओं का यथार्थतापूर्ण निर्णय हो जाता है और उनकी विशिष्ट ऊष्मा[5] का भी सामान्यतः सही मान ज्ञात हो जाता है। फिर भी क्वाटम सिद्धान्त के विकास से प्रकट हो गया है कि यह प्रमेय व्यापक रूप में सत्य नहीं है क्योंकि कृष्ण-वस्तु विकिरण के स्पेक्ट्रमीय घनत्वसम्बन्धी रेले-जीन्स का अयथार्थ नियम इसी प्रमेय से प्राप्त किया गया था। प्लाक की क्वाटम परिकल्पना का वास्तविक उद्देश्य ही यह था कि ऊर्जा के सम विभाजन के प्रमेय से छुटकारा मिले। अतः यदि प्लाक के विचार सही हो तो कृष्ण-वस्तु विकिरण के अतिरिक्त अन्य क्षेत्रों में भी चिर प्रतिष्ठित नियमों से कुछ विपरीतता प्रकट होने की आशा की जा सकती है।

ठोस वस्तुओं के सिद्धान्त का ही उदाहरण लीजिए। समागी ठोस वस्तु में समान परमाणुओं के अपने-अपने सन्तुलन-स्थान होते है जहाँ तापीय विक्षोभ के अभाव में वे अचल रहते हैं। किन्तु तापीय विक्षोभ के कारण ये परमाणु अपने सन्तुलन बिन्दुओं के इधर-उधर दोलन करते रहते है और ज्यो ज्यो टेम्परेचर बढ़ता जाता है त्यो-त्यो इस दोलन का आयाम[6] भी बढ़ता जाता है। ऊर्जा के समविभाजन के सिद्धान्त के अनुसार ठोस वस्तु के सब परमाणुओं की औसत ऊर्जा बराबर होनी चाहिए। पूर्वकालीन

1 The First Applications of the Quantum Hypothesis 2 Equipartition 3 Thermal agitation 4 Degree of Freedom 5 Specific heat 6 Amplitude

सांख्यिकीय यान्त्रिकी के द्वारा इस औसत ऊर्जा का हिसाब लगाने से निम्नलिखित सरल, किन्तु व्यापक नियम प्राप्त हुआ था। किसी भी ठोस वस्तु की विशिष्ट पारमाणविक ऊष्मा[1] अर्थात उस वस्तु की एक ग्राम परमाणु[2] मात्रा का टेम्परेचर एक डिगरी बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा लगभग ६ कलारी होती है।' यही ड्यूलाग और पेटिट[3] का नियम है जिसका प्रायोगिक आविष्कार इन दोनो भौतिकज्ञो ने सैद्धान्तिक निगमन से पहले ही कर लिया था। साधारण टेम्परेचरो पर अधिकतर ठोस वस्तुओ के लिए यह नियम इतना यथार्थतापूर्ण प्रमाणित हुआ है कि इसकी सत्यता मानकर रसायनज्ञो ने बहुधा इसका उपयोग अणुभार[4] का निर्णय करने के लिए किया है। किन्तु यद्यपि ड्यूलाग और पटिट का नियम बहुधा सत्य पाया गया था तथापि ऐसी बात नही है कि वह सदैव सत्य ही निकला हो। कुछ साधारणत बहुत कठोर वस्तुओ (यथा हीरा) की विशिष्ट पारमाणविक ऊष्मा ६ से बहुत कम होती है और यदि टेम्परेचर कम कर दिया जाय तो सभी ठोस वस्तुओ की ऐसी अवस्था हो जाती है जिसमे ड्यूलाग और पटिट का नियम सत्य नही रहता और पारमाणविक ऊष्मा इस नियम द्वारा प्रागुक्त मान से कम होती है। क्वाटम सिद्धान्त इन सब अनियमितताओ के रहस्य का सतोषजनक रीति से उद्घाटन कर देता है। ठोस वस्तु के परमाणु वस्तुत अपने सन्तुलन बिन्दुओ के इधर उधर दोलन करते है और उन दोलनो की आवृत्ति उनके द्रव्यमान और प्रतिस्थापन-बल[5] की तीव्रता पर निर्भर होती है। क्वाटम सिद्धान्त के अनुसार परमाणु की दोलन-ऊर्जा कम-से कम उसकी आवृत्ति द्वारा निर्णीत एक क्वाटम की ऊर्जा के बराबर तो होनी ही चाहिए। यदि तापीय विक्षोभ इतना क्षीण हो कि वह परमाणु को दोलन के लिए आवश्यक क्वाटम कठिनाई से दे सके तो स्पष्ट है कि परमाणु स्थिर ही रहेगा और ऊर्जा का सम विभाजन नही हो सकेगा। अधिकतर ठोस पदार्थो के परमाणुओ के लिए तो दोलनोपयोगी क्वाटम इतना छोटा होता है कि साधारण टेम्परेचरो के तापीय विक्षोभ से परमाणु को वह आसानी से मिल सकता है। अत समविभाजन हो जाता है और ड्यूलाग और पेटिट के नियम का पालन हो जाता है। किन्तु हीरे के समान अत्यन्त कठोर पदार्थो के परमाणु अपने सन्तुलन बिन्दुओ पर इतनी दृढ़ता से जमे रहते है और इसलिए दोलन का क्वाटम इतना बड़ा होता है कि साधारण टेम्परेचरो पर सम विभाजन सभव नही हो सकता। यही कारण है कि ड्यूलाग और पटिट के नियम का व्याघात दिखाई पड़ता है। और टेम्परेचर का कम

1 Atomic heat 2 Gram atom 3 Dulong and Petit 4 Molecular weight 5 Restoring force

करने पर अन्त में सभी ठोस वस्तुओं के लिए तापीय विक्षोभ इतना कम हो जाता कि सब परमाणुओं को आवश्यक दोलन-क्वाटम प्राप्त नहीं हो सकेंगे। फलतः पार माणविक ऊष्मा भी नियमित मान से कम हो जायगी।

विशिष्ट ऊष्मा का क्वाटम सिद्धान्त पहले आइन्स्टाइन के द्वारा प्रस्तुत किया गया था तथा नर्नस्ट और लिन्डमान[1] और बाद में डिबाई[2], बोर्न[3] तथा कारमान[4] के द्वारा विकसित किया गया था। यह क्वाटम की परिकल्पना पर अवलम्बित है और इसके द्वारा ड्यूलाग और पटिट के नियम की सफलताओं और असफलताओं दोनों की समान रूप से अच्छी व्याख्या हो जाती है और इन घटनाओं का सामान्य प्रवाह स्पष्ट अच्छी तरह समझ में आ जाता है। इसके अतिरिक्त विशिष्ट-ऊष्मा का क्वाटम सिद्धान्त ज्यों-का-त्यों गैसों की विशिष्ट-ऊष्मा पर भी लगाया जा सकता है। विशेष कर वह यह भी समझा देता है कि गैस के जटिल अणुओं की आभ्यन्तरिक स्वतन्त्रता की कोटियां नीचे टेम्परेचरों पर जकड़ क्यों जाती है[5]। चिर प्रतिष्ठित सांख्यिकीय यान्त्रिकी में यह तथ्य बोध गम्य नहीं था।

पहले-पहल क्वाटम-परिकल्पना के जितने उपयोग किये गये थे उन सबसे इसे प्रबल समर्थन प्राप्त हुआ था। जब किसी अचर वेगवाले इलक्ट्रानों की टक्कर किसी प्रति-कैथोड[6] से होती है तब जो एक्स किरणें उसमें से निकलती है उनके सतत स्पेक्ट्रम की उच्च सीमा की आवृत्ति के परिकलन से भी इस सिद्धान्त को उतना ही समर्थन मिला था। इन सब उपयोगों में क्वाटम-परिकल्पना से जो सूत्र प्राप्त होते है उनमें नियतांक h इस प्रकार निविष्ट रहता है कि इन सूत्रों का मिलान प्रायोगिक परिणामों से करने पर h का मान नापा जा सकता है। इस प्रकार अत्यन्त ही विभिन्न प्रकार की घटनाओं के अध्ययन से h के जितने मान प्राप्त हुए है उन सबमें आश्चर्यजनक समानता है।

इस प्रकार १९१३ तक प्लांक की प्रतिभापूर्ण और अद्भुत धारणा अनेक तथ्यों के द्वारा पुष्ट हो गयी थी। इसी समय बोह्र[7] के परमाणु सिद्धान्त का आविर्भाव हुआ और उससे इस धारणा को एक और नया तथा प्रबल समर्थन प्राप्त हुआ और यह प्रकट हो गया कि द्रव्य की संरचना भी क्वाटमों के ही द्वारा निर्णीत होती है।

1 Nernst and Lindemann 2 Debye 3 Born 4 Karman 5 Enforced 6 Anticathode 7 Bohr

# छठा परिच्छेद

## बोह्र का परमाणु

### १ स्पेक्ट्रम और स्पेक्ट्रमीय रेखाएँ

परमाणु के अभ्यन्तर प्रदेश का प्रेक्षण हम प्रत्यक्षत नहीं कर सकते क्योंकि जिन राशियों का अनुभव हमारे लिए संभव हो सकता है उनसे बहुत ही छोटे अंश के बराबर इस कल्पनातीत सूक्ष्म जगत की राशियाँ होती है। अत परमाणु की संरचना का ज्ञान हमें केवल ऐसी घटनाओं में ही प्राप्त हो सकता है जो उस संरचना पर अवलम्बित भी हो और मानव-स्तर पर प्रेक्षण-गम्य भी हो। ऐसी ही घटनाओं की गिनती में उन प्रकाश किरणों के स्पेक्ट्रम हैं जो तापीय अथवा वैद्युत विभाजन के कारण तत्वों[2] के परमाणुओं में से विशेष स्थितियों में उत्सर्जित होते है। वस्तुत ये उन उत्सर्जक परमाणुओं के लाक्षणिक[3] स्पेक्ट्रम होते है और जिन घटनाओं से ये उत्पन्न होते है उनका घटना स्थल परमाणु का अभ्यन्तर ही होता है। अत परमाणु की संरचना के सम्बन्ध में इनसे हमें बहुत कुछ सूचना मिल सकती है। इसी कारण इन स्पेक्ट्रमों का अध्ययन और वर्गीकरण भौतिक विज्ञान के लिए बहुत बड़े महत्व के काम समझे गये थे।

किन्तु यह काम बहुत आसान नहीं था क्योंकि प्रकाशीय स्पेक्ट्रम बहुत ही जटिल होते है और यदि उनके अध्ययन का क्षेत्र प्रकाश की सीमाओं से बढ़ाकर अवरक्त[4] और परा-बैंगनी[5] प्रदेशों तक विस्तारित करना अभीष्ट हो तो ऐसे विशेष प्रकार के प्रायोगिक साधनों और कार्य विधियों का उपयोग आवश्यक होता है जो बहुत धीरे धीरे उपलब्ध हुए थे। फिर भी इन स्पेक्ट्रमों की जटिलता में शनैः शनैः कुछ नियमितताओं को ढूंढ निकालना और कुछ प्रायोगिक नियमों का सत्यापन संभव हो गया था और इस कारण प्रयोग द्वारा प्रेक्षित घटनाओं के बहुत विस्तृत समुदाय में कुछ सुशृंखलता भी स्थापित हो गयी थी। सबसे पहले तो यह दिखाई पड़ा कि उन रेखाओं का

1 The Atom of Bohr 2 Chemical elements 3 Characteristic
4 Infra red 5 Ultra violet

विभिन्न अनुक्रमों में विभाजित किया जा सकता है। इन अनुक्रमों के लिए पारिभाषिक शब्द श्रेणी[1] है। विभिन्न तत्त्वों से सम्बन्धित इन श्रेणियों की संरचनाओं में कुछ समानताएँ भी पायी गयी हैं। प्रत्येक श्रेणी की विभिन्न रेखाओं में ऐसा पारस्परिक सम्बन्ध होता है जो गणितीय सूत्र के द्वारा सरलता से व्यक्त किया जा सकता है। सबसे पहले १८८५ में पारमाणविक हाइड्रोजन के दृश्य स्पेक्ट्रम की समस्त रेखाओं की आवृत्तियों को व्यक्त करने के लिए एक गणितीय सूत्र का आविष्कार करने में बामर[2] को सफलता मिली थी। इस सूत्र में रेखाओं की आवृत्तियाँ एक पूर्णांक के फलन के रूप में प्रकट होती हैं और उस पूर्णांक का मान उत्तरोत्तरवर्ती रेखाओं के लिए बदलता जाता है। तभी से हाइड्रोजन की यह रेखा-श्रेणी बामर-श्रेणी कहलाती है। दृश्य सीमाओं के बाहर हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम के अध्ययन से एक पराबैंगनी श्रेणी (लाइमान श्रेणी[3]) और कई अवरक्त श्रेणियों का (पाशन[4], ब्रैकेट[5] और फुंड[6] की श्रेणियों का) आविष्कार हुआ। इन श्रेणियों की रेखाएँ भी बामर के नियम के ही सदृश नियमों का पालन करती हैं। हाइड्रोजन से भिन्न अन्य तत्त्वों—विशेषकर क्षारीय तत्त्वों[7] के स्पेक्ट्रमों में भी इसी प्रकार की कुछ अधिक जटिल श्रेणियाँ पायी गयी हैं। प्रत्येक श्रेणी की रेखाओं की आवृत्तियाँ बामर के सूत्र से मिलते जुलते सूत्रों के द्वारा निर्दिष्ट हो जाती हैं अर्थात् प्रत्येक आवृत्ति दो पदों[8] के अन्तर के बराबर होती है जिनमें से एक पद तो अपरिवर्ती होता है और उस श्रेणी का लाक्षणिक होता है और दूसरा पद रेखा की क्रम-संख्या के अनुसार बदलता जाता है। स्पैक्ट्रमीय रेखाओं की आवृत्तियों के इस विशेष प्रकार के गणितीय व्यंजक के कारण बहुधा ऐसा भी होता है कि किसी एक स्पैक्ट्रमीय रेखा की आवृत्ति दो अन्य रेखाओं की आवृत्तियों के जोड़ के बराबर हो जाती है। विभिन्न तत्त्वों के स्पैक्ट्रमों के अध्ययन से स्थापित इन प्रायोगिक नियमों पर विचार करके रिट्ज[9] ने अपने व्यापक नियम का प्रतिपादन किया। यही अब 'संयोजन नियम'[10] के नाम से प्रसिद्ध है और यही समस्त अर्वाचीन स्पैक्ट्रम विज्ञान की आधार शिला है।

संयोजन नियम इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है। प्रत्येक प्रकार के परमाणु के लिए एक अनुक्रम[11] ऐसी संख्याओं का मिल सकता है जिन्हें उस परमाणु के स्पैक्ट्रमीय पद[12] कहते हैं और उस परमाणु की प्रत्येक स्पैक्ट्रमीय रेखा की आवृत्ति इनमें से दो स्पैक्ट्रमीय पदों के अन्तर के बराबर होती है। इस संयोजन नियम का समस्त ज्ञेय

1 Series 2 Balmer 3 Lyman Series 4 Paschen 5 Brackett 6 Pfund 7 Alkaline elements 8 Terms 9 Ritz 10 Principle of combination 11 Sequence 12 Spectral terms

पर वामर के नियम तथा उसी के सदृश अन्य नियमों का गणितीय रूप आवृत्तियों में योगात्मक सम्बन्धों का अस्तित्व आदि सभी बातें तुरन्त समझ में आ जाती हैं। इस प्रकार संयोजन नियम की रचना अगस्त्य स्पेक्ट्रमीय तथ्यों के द्वारा असन्दिग्ध रूप से प्रमाणित हो चुकी है। किन्तु इस नियम के अस्तित्व का कारण अवश्य ही परमाणु की संरचना में निहित है और उसे अच्छी तरह समझ लेने पर हमें अवश्य ही इस बात का भी आभास मिल सकता है कि इस संरचना के आभ्यन्तरिक परिवर्तन के द्वारा स्पेक्ट्रमीय रेखाओं का उत्सर्जन परमाणु में से किस प्रकार होता है। अतः सद्धान्तिक भौतिक विज्ञान के समक्ष रिट्ज के नियम के मूल कारण का पता लगाने और उसके द्वारा परमाणु की संरचना के सम्बन्ध में ज्ञान प्राप्त करने के महत्त्वपूर्ण कार्य को अविलम्ब सम्पादित करने की आवश्यकता उपस्थित हुई थी। किन्तु जिन स्पेक्ट्रमीय नियमों का प्रेक्षित तथ्यों में से आविष्कार करने में प्रयोगकर्त्ताओं को इतनी सफलता प्राप्त हो चुकी थी उनके स्पष्टीकरण के लिए दुर्भाग्यवश सद्धान्तिक भौतिक विज्ञान विषयक पूर्व प्रतिष्ठित धारणाएँ बिल्कुल ही अक्षम प्रतीत हुई। स्पेक्ट्रमीय रेखाओं के उत्सर्जन की व्याख्या के लिए विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त ने वस्तुतः विकिरणोत्पादक द्रव्य में दोलनशील विद्युन्मयी कणिकाओं के अस्तित्व की कल्पना का सहारा लिया था। यथा उसमें यह कल्पना की गयी थी कि परमाणुओं के अन्दर इलैक्ट्रान विद्यमान रहते हैं और वे साधारणतः तो अपने सन्तुलन बिन्दु पर ही स्थिर रहते हैं किन्तु किसी प्रकार की उत्तेजना के कारण वे उस बिन्दु के इधर उधर आवर्त दोलन करने लगते हैं। परन्तु इस कल्पना के आधार पर आवृत्तियों के मापक्रम में स्पैक्ट्रम-रेखाओं के वितरण के जिन नियमों का सद्धान्तिक निगमन हुआ वे वास्तविक नियमों से बहुत ही भिन्न थे। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं की इसी असफलता को देखकर आरी प्वाकरे ने १९०५ में लिखा था कि "स्पैक्ट्रमीय रेखाओं के वितरण को देखते ही हमारा ध्यान शब्द विज्ञान के प्रसंवादियों[1] की ओर जाता है। किन्तु दोनों में बड़ा भारी भेद है। केवल यही नहीं कि तरंगांक[2] किसी एक ही संख्या के क्रमागत अपवर्त्य नहीं होते, किन्तु भौतिक गणित में बहुधा जो बीजातीत समीकरण[3] प्राप्त होते हैं (यथा किसी विशेष आकृति की वस्तु के प्रत्यास्थ-कम्पनों[4] का समीकरण या किसी विशेष आकृति के वैद्युत-दोलक द्वारा उत्पन्न हर्टजीय दोलनों का समीकरण अथवा किसी ठोस वस्तु के शीतन[5] सम्बन्धी फूरियर[6] का समीकरण)

1 Harmonics 2 Wave number 3 Transcendental equations
4 Elastic vibrations 5 Cooling 6 Fourier

उनके समीकरण मूलों[1] में सादृश्य भी हमें कोई चीज यहाँ नहीं मिलती। ये नियम सरल तो अवश्य हैं, किन्तु वे हैं सर्वथा भिन्न प्रकार के। इस बात पर हमने ध्यान नहीं दिया है किन्तु मेरा विश्वास है कि इसी में प्रकृति का एक सबसे अधिक महत्त्वपूर्ण रहस्य छिपा हुआ है।'[2]

"और मेरा विश्वास है कि इसी में प्रकृति का एक सबसे अधिक महत्त्वपूर्ण रहस्य छिपा हुआ है' इस वाक्य में सचमुच ही भविष्य-दर्शन का आभास मालूम पड़ता है जब हम देखते हैं कि यह बोह्र के सिद्धान्त से दस वर्ष पहले लिखा गया था। क्योंकि बोह्र के सिद्धान्त के ही द्वारा तो स्पेक्ट्रमीय नियमों का वास्तविक अर्थ हमें मालूम हुआ है और उसी के द्वारा हम यह भी समझ गये हैं कि इन नियमों में भौतिक सरलताओं का क्वाटमित स्वरूप किस प्रकार निहित है। इसी से यह स्पष्ट प्रकट हो गया है कि द्रव्य की समस्त आभ्यन्तरिक व्यवस्था और उस व्यवस्था का स्थायित्व क्वाटमों के अस्तित्व पर ही आश्रित है। क्वाटमों के बिना द्रव्य का अस्तित्व ही संभव नहीं है। यही वह रहस्य है जिसका जिक्र प्वांकरे ने किया था।

## २ बोह्र का सिद्धान्त

अब हम परमाणु के उस क्वाटम सिद्धान्त का वर्णन करेंगे जिसका प्रतिपादन और परिपोषण बोह्र ने १९१३ में किया था। हम देख ही चुके हैं कि उस समय भौतिकज्ञों का झुकाव परमाणु के ऐसे सौर मडलीय प्रतिरूप की तरफ हो गया था जिसमें यह माना जाता था कि परमाणु में धन विद्युत् से आविष्ट एक केन्द्रीय नाभिक[3] होता है जिसका द्रव्यमान लगभग परमाणु के पूरे द्रव्यमान के बराबर होता है और जिसके आकर्षण के कारण ग्रहीय इलेक्ट्रान उसकी परिक्रमा करते रहते हैं। इस प्रतिरूप की कल्पना सबसे पहले जीन पैरां[4] ने की थी और लार्ड रैले[5] और उनके सहयोगियों के प्रयोगों द्वारा इसे प्रबल समर्थन भी मिल चुका था। इन प्रयोगों से यह प्रमाणित हो गया था कि परमाणु के गर्भ में एक अत्यन्त छोटे बिन्दु के बराबर आकारवाला नाभिक विद्यमान होता है और उसमें विद्युत का आवेश भी होता है। किन्तु यद्यपि प्रयोग द्वारा इस प्रतिरूप का प्रबल समर्थन हुआ था तथापि दुर्भाग्यवश विकिरण के उत्सर्जन तथा आविष्ट कणिकाओं की गति के सम्बन्ध में जो चिरप्रतिष्ठित धारणाएँ थीं उनसे इसका बिल्कुल ही मेल नहीं बैठा। वस्तुत स्पेक्ट्रमों की रेखाएँ लगभग एकवर्णीय[6] होती हैं और

1 Roots 2 La Valeur de la Science Page 305 3 Nucleus 4 Jean Perrin 5 Lord Rayleigh 6 Monochromatic

उनकी आवत्तियाँ अपरिवर्ती होती ह । इस भौतिक तथ्य के कारण चिरप्रतिष्ठित धारणाओ से अभिभूत भौतिकी का यह मानना था कि परमाणु के भीतर की आविष्ट कणिकाएँ–इलक्ट्रान–साधारणत ऐसे स्थान पर अवस्थित होती ह जहा उनका सन्तुलन स्थायी होता है और यदि उन्हे उस स्थान से हटा दिया जाय तो वे पुन वहा लौट जाने का प्रयत्न करती ह । यदि कोई इलक्ट्रान किसी भी बाह्य-बल के द्वारा अपने सन्तुलन बिन्दु से विस्थापित कर दिया जाय तो यह अवश्य ही उस बिन्दु के इधर उधर निश्चित आवत्ति से दोलन करने लगेगा। और उसके साथ ही विद्युत चुम्बकीय सिद्धात के अनुसार उसमें से एक सुनिर्णीत आवत्तिवाली विद्युत चुम्बकीय तरग उत्पन्न होकर चारो ओर फैलने लगेगी। इससे उस इलैक्ट्रान की ऊर्जा धीरे धीरे घटती जायगी। और अन्त में वह अपने सतुलन बिन्दु पर आकर स्थिर हो जायगा। इस प्रकार स्पैक्ट्रमीय रेखाओ की एक-वर्णता और परमाणु सरचना का स्थायित्व इन दोनो ही बातो की समुचित व्याख्या हो जायगी। किन्तु परमाणु के सौर मडलीय प्रतिरूप के द्वारा ऐसी व्याख्या सभव नहीं हुई क्योकि कपलरीय[1] कक्षा पर परिभ्रमण करने वाले इलैक्ट्रानो के परिभ्रमण की आवत्ति उनकी ऊर्जा पर अवलम्बित होनी चाहिए। और इसी ऊर्जा के अनुसार परिवर्तित भी होनी चाहिए। अत यदि विकिरण का चिरप्रतिष्ठित सिद्धात परमाणु पर लागू हो तो इन ग्रहीय इलैक्ट्रानो की ऊर्जा उत्तरोत्तर घटती जानी चाहिए और उनमे से उत्सर्जित होनेवाले विकिरण की आवत्ति सतत रूप से परिवर्तित होनी जानी चाहिए तथा अन्त मे उन इलक्ट्रानो को नाभिक मे गिरकर उसके वैद्युतिक आवेश को विलुप्त कर देना चाहिए। इस प्रकार चिरप्रतिष्ठित सिद्धात का उपयोग परमाणु के सौर-मडलीय प्रतिरूप मे करने पर न तो स्पक्ट्रमीय रेखाओ के एकवर्णत्व की मीमासा हो सकती है और न परमाणु के स्थायित्व की। नील्स बोह्र[2] ने जब अपने अनुसधानो का प्रारम्भ किया था तब उन्हे इसी कठिनाई का सामना करना पडा था।

बोह्र को इस बात का बडा भारी श्रेय है कि उन्होने परमाणु के सौरमडलीय प्रतिरूप मे क्वाटम सिद्धात की मूल धारणाओ को समाविष्ट करने की आवश्यकता को समझ लिया था। हम जानते ह कि इन धारणाओ के अनुसार यह मानना पडता है कि चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी द्वारा अनुमोदित असख्य सभव गतियो में से केवल थोडी सी ही क्वाटमित[3] गतिया स्थायी होती है और प्राकृतिक जगत में केवल उन्ही का अस्तित्व

1 Keplerian 2 Niels Bohr 3 Quantised

सभव है। हम दख चुके है कि जिस वस्तु की आवतगति एक ही चर राशि द्वारा निर्दि
हो सकती हो उसकी क्वाटमित गतियो को निर्णीत करने के लिए प्लाक ने एक व्याप
नियम का आविष्कार किया था। जिस समय उन्होने अपना पहला लख लिखा था
उस समय यह नही मालूम था कि जो आवत-गतिया एक से अधिक चर राशियो द्वारा
निर्दिष्ट होती है उन्हे क्वाटमित करने की विधि क्या है, किन्तु इस बात की बहुत सभ
वना दिखाई देने लगी थी कि ऐसी व्यापक अवस्था में भी क्वाटमित करने की विधि
जल्दी ही ज्ञात हो जायगी। इसी कारण बोह्र के लिए परमाणु के आभ्यन्तरिक इलक्ट्रान
की गति का क्वाटमित मानना सभव हो गया और वे इस परिणाम पर पहुँचे कि प्रत्येक
परमाणु की कुछ स्थायी क्वाटमित अवस्थाएँ—स्थावर अवस्थाएँ[1] होती है और यह
मान लिया जा सकता है कि परमाणु सदा इन्ही मे से किसी एक स्थावर अवस्था में विद्य
मान रह सकता है। और चूकि प्रत्येक अनन्य-सपर्कित परमाणु स्थिरोर्ज निकाय[2] समझा
जा सकता है, अत प्रत्येक स्थावर अवस्था की ऊर्जा का एक नियत क्वाटमित मान होगा
और प्रत्येक परमाणु की विभिन्न सभव स्थावर अवस्थाओ की ऊर्जा के क्वाटमित मानो
का भी एक अनुक्रम[3] होगा। इस प्रकार प्रत्येक तत्त्व के परमाणु के साथ सख्याओ का
एक ऐसा अनुक्रम सम्बद्ध होगा जिससे उस परमाणु की विभिन्न सभव सरचनाओ की
ऊर्जाएँ ज्ञात हो सकेगी।

तर्क की प्रगति मे इस स्थान पर पहुँचते ही यह स्पष्ट हो जाता है कि उपर्युक्त
परिणाम मे और सयोजन नियम द्वारा प्राप्त स्पेक्ट्रमीय पदो के अस्तित्व में बहुत
अच्छी समानता है। स्पैक्ट्रमीय पदो और रिट्ज के नियम की क्वाटमीय व्याख्या के
लिए केवल इतना ही मान लेना काफी है कि स्पैक्ट्रमीय रेखाओ की आवृत्तियाँ उन
परमाणु की ऊर्जा के दो क्वाटमित मानो के अन्तर की अनुपाती होती है। बोह्र के सामने
परमाणु के क्वाटम सिद्धान्त मे यह परिकल्पना अत्यन्त स्वाभाविक रूप से ही प्रकट हो
गयी। और चकि परमाणु की क्वाटमित अवस्थाएँ स्थायी होती है इसलिए जब परमाणु
ऐसी अवस्था को प्राप्त कर लेता है तब उसमें से कोई विकिरण उत्सर्जित भी नही
हो सकता। स्पष्टत ही यह परिणाम विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त की प्रागुक्तियो के
विरुद्ध है क्योकि क्वाटमित अवस्था में भी इलैक्ट्रान ग्रह सवृत्त[4] पथो पर परिभ्रमण
करते है और उनमें बराबर बहुत बडे त्वरण मौजूद रहते है। किन्तु यह परिणाम क्वाटम
स्थायित्व की धारणा से सगत है। इससे यह भी प्रकट है कि स्पेक्ट्रमीय रेखा उस म

1 Stationary States 2 Conservative System 3 Sequence 4 Closed

उत्पन्न होती है जब परमाणु एक क्वाटमिक अवस्था से दूसरी मे सक्रमण[1] करता है और उसकी ऊर्जा घटती है। इसी लिए बोह्‌र ने यह मान लिया कि प्रत्येक स्पैक्ट्रमीय उत्सर्जन का उद्‌गम वह आकस्मिक सक्रमण होता है जिसमे परमाणु एक स्थावर अवस्था से कूदकर दूसरी मे पहुँच जाता है और तब ही उसमे से कुछ ऊर्जा विकिरण के रूप मे निकल जाती है। इसके अतिरिक्त क्वाटम सिद्धात में यह मानना तो स्वाभाविक ही है कि ऊर्जा क्वाटमो के रूप में—फोटानो के रूप में—ही उत्सर्जित होती है। अत सक्रमण के क्षण मे विकिरण-ऊर्जा के एक क्वाटम का उत्सर्जन होता है और इसका परिमाण परमाणु की प्रारभिक स्थावर और अतिम स्थावर अवस्था की ऊर्जाओ के अतर के बराबर होता है। और इससे निम्नलिखित नियम तुरत प्राप्त हो जाता है जिसका प्रख्यात नाम "बोह्‌र का आवत्ति नियम"[2] है। जब परमाणु किसी स्थावर अवस्था क से किसी दूसरी स्थावर अवस्था ख मे सक्रमण करता है तब जो स्पैक्ट्रमीय रेखा उत्सर्जित होती है उसकी आवत्ति क तथा ख अवस्थाओ की ऊर्जाओ के अतर मे प्लाक के नियताक h का भाग देने से प्राप्त भागफल के बराबर होती है।" इस आवत्ति नियम के अनुसार परमाणु के स्पैक्टमीय पद उस परमाणु की स्थावर अवस्थाओ की ऊर्जाओ मे h का भाग देने से प्राप्त सख्या के बराबर होते है और इस बात से सयोजन नियम के रहस्य का उदघाटन हो जाता है।

सक्षेप मे ग्रहीय परमाणु के क्वाटम सिद्धात का बोह्‌र ने निम्नलिखित दो आधारो पर खडा किया है। (1) प्रत्येक परमाणु की स्थावर अवस्थाओ का एक ऐसा अनुक्रम होता है जो उसकी क्वाटमित गतियो को निरूपित करता है और जिसका परिकलन गणना प्लाक की विधि से हो सकती है। परमाणु का भौतिक अस्तित्व केवल इन्ही अवस्थाओ मे सभव हो सकता है। (ii) परमाणु की स्पैक्ट्रमीय रेखाओ का उत्सर्जन उसी समय होता है जब परमाणु का एक स्थावर अवस्था से दूसरी मे सक्रमण होता है और उन रेखाओ की आवत्तियाँ आवत्ति नियम के द्वारा निर्णीत होती है।

इसके बाद जो काम करना आवश्यक था वह यह था कि विभिन्न परमाणुओ की स्थावर अवस्थाओ की ऊर्जाओ के मान परिकलन द्वारा प्राप्त किये जायँ। सरलतम उदाहरण हाइड्रोजन का है जिसका परमाणु क्रमाक[3] १ है। इस परमाणु मे केवल एक ही ग्रहीय इलक्ट्रान होता है जो दीर्घवृत्तीय पथ पर नाभिक की परिक्रमा करता रहता है। लेकिन इस सरल समस्या की भी पूर्ण मीमासा करने मे बोह्‌र को अपने

1 Transition 2 Bohr's Frequency Law 3 Atomic number

प्रथम प्रयास में सफलता नहीं मिल सकी। कैपलरीय गति का निर्णीत करने के लिए दो चर-राशियों की आवश्यकता होती है, यथा, सदिश त्रिज्या[1] और ग्रह का दिगंश[2]। उस समय तक एक चर राशि द्वारा निर्णीत गति के अतिरिक्त अन्य गतियों के क्वाण्टमीकरण की विधि मालूम नहीं थी। इस कठिनाई को दूर करने के लिए बोह्र ने पहले केवल वृत्ताकार कैपलरीय गति पर ही विचार किया क्योंकि इसमें सदिश त्रिज्या अचर रहती है और अकेला दिगंश ही चर समझा जा सकता है। तब स्थावर वृत्ताकार पथों के लिए क्रिया के चक्रीय अनुकल[3] का नियतांक h के किसी पूर्ण अपवर्त्य के बराबर मानकर बोह्र ने इन स्थावर पथों की ऊर्जा को एक पूर्णांक के फलन के रूप में व्यक्त कर दिया जिसमें पूर्णांक का मान १ से अनन्त[4] तक बदल सकता है। तब ऊर्जा के इन मानों में h का भाग देने से हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रमीय पद प्राप्त हो गये और उनसे विभिन्न स्पैक्ट्रम-श्रेणियों की आवृत्तियों को व्यक्त करनेवाला सूत्र भी प्राप्त हो गया। इस प्रकार बामर का सूत्र तथा उसके ही सदृश लाइमान, पाशन आदि के सूत्र भी अनायास ही अविकल रूप में प्राप्त हो गये। और यह भी नहीं कि इन सूत्रों का केवल रूप मात्र ही प्राप्त हुआ हो। उनके संख्यात्मक मान भी यथार्थ निकले। बामर सूत्र में और तत्समान अन्य सूत्रों में भी एक नियतांक रहता है जिसका नाम स्पेक्ट्रम वैज्ञानिकों ने रिडबर्ग नियतांक[5] रख दिया है और दीर्घ काल पहले ही इसका मान अत्यन्त यथार्थतापूर्वक नाप लिया गया था। बोह्र के सिद्धान्त में इस नियतांक का मान इलेक्ट्रान के आवेश और द्रव्यमान तथा प्लांक के नियतांक इन तीन मौलिक नियतांकों के द्वारा व्यक्त हो जाता है। अतः बोह्र के सिद्धान्त के द्वारा रिडबर्ग नियतांक के मान का परिकलन प्रेक्षण से पहले ही[6] हो सकता है और इस गणना से ठीक वही मान प्राप्त होता है जिसे स्पैक्ट्रम-वैज्ञानिकों ने स्पेक्ट्रमीय रेखाओं को नापकर प्राप्त किया था। यह पारिमाणिक अनुरूपता बोह्र के परमाणु सिद्धान्त की बहुत बड़ी सफलता है और इसने प्रमाणित कर दिया कि बोह्र द्वारा निर्दिष्ट मार्ग ही सही रास्ता है।

किन्तु बोह्र को इस विचक्षण प्रारम्भिक सफलता से सन्तोष नहीं हुआ। उन्होंने अपने सिद्धान्त का उपयोग आयनित हीलियम[7] के लिए भी किया। मेण्डलीफ[8] की जिस सारणी में सब तत्त्व वर्धमान परमाणु भार के अनुक्रम से विन्यस्त हैं उसमें हीलियम का स्थान दूसरा है। उसका परमाणु क्रमांक[9] २ है और ग्रहीय प्रतिरूप के अनुसार

1 Radius vector 2 Azimuth 3 Cyclic integral of action 4 Infinity
5 Rydberg constant 6 A priori 7 Ionised helium 8 Mendeleeff
9 Atomic number

हीलियम के परमाणु में प्रोटान से दो गुने विद्युत आवेशवाला एक नाभिक और दो ग्रहीय इलक्ट्रान होते हैं। अतः हीलियम के परमाणु की क्वाटमित गतियों का निर्णीत करने की गणितीय समस्या बहुत जटिल है क्योंकि यह तीन वस्तुओं की यांत्रिक समस्या है। किन्तु यदि किसी बाह्य क्रिया के कारण हीलियम परमाणु में से एक इलक्ट्रान निकल जाय तो समस्या सरल हो जाती है। तब हीलियम परमाणु आयनित हो जाता है और उसमें केवल एक ही इलक्ट्रान रह जाता है और इसकी यांत्रिक समस्या हाइड्रोजन परमाणु की समस्या के समान ही हो जाती है। अन्तर केवल यह रह जाता है कि इसके नाभिक का विद्युत आवेश दो गुणा बड़ा है। इस युक्ति से बोह्र ने सिद्ध किया कि आयनित हीलियम की स्पक्ट्रमीय रेखाएँ भी बामर के नियम के समान ही नियमों का पालन करेंगी किन्तु इन नियमों में रिडबर्ग नियतांक को ४ से गुणा करना पड़ेगा। इससे बोह्र इस परिणाम पर भी पहुँचे कि जिस पिकरिंग-श्रेणी[1] का आविष्कार कई तारों के स्पक्ट्रम में हुआ था और जिसका उद्गम गलती से हाइड्रोजन परमाणु समझा गया था उसका वास्तविक उद्गम आयनित हीलियम है। इसी प्रकार परमाणु के क्वाटम सिद्धान्त के द्वारा ऐसे बहुत से स्पक्ट्रमीय तथ्यों का स्पष्टीकरण हो गया है जिनकी व्याख्या पहले संदिग्ध समझी जाती थी।

इसके अतिरिक्त बोह्र को एक छोटे से, किन्तु अत्यन्त विचित्र तथ्य के स्पष्टीकरण में भी सफलता प्राप्त हो गयी। प्रायोगिक प्रेक्षणों से प्रकट होता है कि आयनित हीलियम के लिए उपर्युक्त गुणक ४ के द्वारा संशोधित रिडबर्ग नियतांक का मान ठीक उतना नहीं होता जितना कि हाइड्रोजन के स्पैक्ट्रम के लिए होता है। इस विभेद का कारण बोह्र ने यह बताया कि परमाणु के नाभिक पर भी ग्रहीय इलक्ट्रानों की कुछ प्रतिक्रिया होती है और इसलिए वह पूर्णतः अचल नहीं रहता। मूल सिद्धान्त में नाभिक को अचल आकर्षण-केन्द्र माना गया था। अतः उस सिद्धान्त को केवल प्रथम सन्निकटीकरण ही समझना चाहिए। और परिकलन में नाभिक की इस गति के प्रभाव को भी सम्मिलित करना चाहिए। नाभिक जितना ही हल्का होगा उतना ही अधिक महत्त्व इस संशोधन का होगा। जब परिकलन अधिक यथार्थतापूर्वक किया गया तो एक संशोधक पद[2] प्राप्त हुआ जिसका मान इलक्ट्रान के तथा नाभिक के द्रव्यमानों के अनुपात पर अवलम्बित होता है। हीलियम का नाभिक हाइड्रोजन के नाभिक की अपेक्षा लगभग चार गुणा भारी होता है। इसलिए यद्यपि हाइड्रोजन और हीलियम दोनों के

1 Pickering series 2 Correction term

ही लिए इस प्रकार परिकल्पित गशोधक पद छोटा होगा, फिर भी वह हीलियम की अपेक्षा हाइड्रोजन के लिए काफी अधिक बड़ा होगा। इस बात से अच्छी तरह समझ में आ जाता है कि रिडबर्ग-नियतांक का मान इन दोनों पदार्थों के लिए बराबर क्यों नहीं है। बोह्र के परिकल्पन के अनुसार जितना अन्तर दोनों में होना चाहिए प्रयोग द्वारा भी ठीक उतना ही मिलता है।

बोह्र के परमाणु सिद्धान्त के द्वारा हाइड्रोजन और हीलियम से भिन्न अन्य तत्त्वों के प्रकाशीय स्पैक्ट्रमों की संरचना भी स्थूल रूप से समझ में आ जाती है। इसमें सन्देह नहीं कि जब हम बोह्र की परिकलन विधि का उपयोग एक से अधिक इलैक्ट्रॉन वाले परमाणुओं पर करना चाहते हैं तो अनिवार्यत बड़ी कठिनाइयों का सामना करना पड़ता है। एक ओर तो समस्या जटिल और असाध्य हो जाती है और दूसरी ओर क्वांटमीकरण के नियमों का उपयोग संशय-ग्रस्त हो जाता है। फिर भी समस्त तत्त्वों के स्पैक्ट्रमों में व्यापक समानता है और उन सब के ही श्रेणी सूत्रों में रिडबर्ग नियतांक भी विद्यमान रहता है। इससे स्पष्ट ज्ञात होता है कि इन सब स्पैक्ट्रमों में गहरा पारस्परिक सम्बन्ध है और इसलिए यह विश्वास भी दृढ हो जाता है कि जो विधि हाइड्रोजन के सम्बन्ध में इतनी सफल प्रमाणित हुई है वही अन्य तत्त्वों के लिए भी उपयोगी होनी चाहिए। बोह्र के अनुसार हम निम्नलिखित व्यवस्था का उपयोग कर सकते हैं जो निःसन्देह बहुत ही अपरिष्कृत है। मान लीजिए कि परमाणु क्रमांक Z वाले अनायनित[1] परमाणु के नाभिक को घेरे हुए एक केन्द्रीय प्रदेश है जिसमें (Z−१) इलैक्ट्रॉन विचरण करते हैं और Z− वां इलैक्ट्रॉन इस 'इलैक्ट्रॉनिक शव'[2] की परिक्रमा करता है। इसी Z− वें इलैक्ट्रॉन का एक स्थावर अवस्था से दूसरी में संक्रमण होने से उस परमाणु का स्पैक्ट्रम प्रकट होता है। नाभिक और इस शव का सम्मिलित प्रभाव प्रथम सन्निकटन तक कूलम्बीय बल-क्षेत्र के तुल्य ही रहता है और इसी से स्पैक्ट्रमीय पद भी हाइड्रोजन के पदों के अनुरूपी[3] हो जाते हैं। इस प्रकार सब प्रकाशीय स्पैक्ट्रमों की समानता की व्याख्या—अवश्य ही बहुत स्थूल व्याख्या—संभव हो जाती है।

इसी विचारधारा का अनुसरण करके हम एक्स किरणों के स्पैक्ट्रमों के स्वरूप को भी समझ सकते हैं। इनमें भी मुख्यत वही लक्षण दिखाई देते हैं जो प्रकाशीय स्पैक्ट्रमों में वर्तमान होते हैं। हम इस विषय के विस्तृत विवेचन में फँसना नहीं चाहते। इतना ही कह देना काफी होगा कि बोह्र के विचारों की सहायता से एक्स

1 Un ionised 2 Electronic carcass 3 Corresponding

किरण-स्पक्ट्रमा का महान नियम—मोसले का नियम[1] भी हमारी समझ में आ जाता है। प्रकाशीय स्पैक्ट्रम रेखाओं के समान ही रटजन किरणों[2] के स्पैक्टमा की रेखाएँ भी श्रेणियों में विभाजित होती हैं और इन श्रेणियों की सामान्य रचना सब तत्त्वों के लिए एक-सी ही होती है। जब १९१२ में लावे[3] फ्रीडरिख और निपिंग[4] ने निस्टल-सजात एक्स किरण विवतन[5] का आविष्कार कर लिया और हम एक्स किरणों का तरग दैर्घ्य यथार्थतापूर्वक नापने में सफल हो गये तब इगलैंड के युवक वैज्ञानिक मोसले[6] का ध्यान इस बात पर गया कि यदि विभिन्न तत्त्वों के स्पक्ट्रमों की समधर्मी[7] रेखाओं पर गौर किया जाय तो वे रेखाएँ विस्थापित[8] दिखाई देती हैं और हमें ज्ञात हो जाता है कि आवत्तियों के मापक्रम में इन रेखाओं का विस्थापन लगभग परमाणु-क्रमाक के वर्ग का अनुपाती होता है। दूसरे शब्दों में यदि किसी तत्त्व का परमाणु क्रमाक किसी अन्य तत्त्व से दो गुणा बडा हो तो प्रथम तत्त्व की किसी स्पक्ट्रमीय रेखा का आवत्ति विस्थापन द्वितीय तत्त्व की उसी रेखा के आवत्ति विस्थापन से चार गुणा बडा होता है। बोह्र सिद्धान्त के सूत्रों से यह परिणाम सहज में ही निकल आता है कि एक्स किरणों के क्षेत्र में समस्त स्पैक्ट्रमीय रेखाओं की आवत्तियाँ तत्त्वों के अनुक्रम में लगभग परमाणु क्रमाक के वर्ग के अनुसार परिवर्तित होती हैं—कम से कम प्रथम और बहुत स्थूल सन्निकटन तक। इस प्रकार मोसले का नियम युक्ति सगत सिद्ध हो जाता है और बोह्र के परमाणु सिद्धान्त की आविष्कारक शक्ति का सभी स्पक्ट्रमीय क्षेत्रों में परिचय मिल जाता है।

## ३ बोह्र के सिद्धान्त का परिपाक और सामरफेल्ड का सिद्धान्त[9]

गणितीय विकास की दृष्टि से बोह्र के सिद्धान्त में एक बडी कमी थी। हाइड्रोजन परमाणु के सरलतम प्रसग में भी उससे केवल वृत्ताकार पथों की क्वाटमित ऊर्जाओं का परिकलन हो सकता है। दीर्घवृत्तीय पथों के लिए उसका उपयोग नहीं किया जा सकता। इस असमर्थता का कारण यह है कि उसमें क्वाटमीकरण की विधियों का पर्याप्त विकास नहीं हुआ था। प्लाक द्वारा निर्दिष्ट क्वाटमीकरण विधि तो केवल उन्हीं गतियों के लिए सप्रयोज्य है जिनके वर्णन के लिए केवल एक ही चर राशि काफी होती है। बोह्र के सिद्धान्त के विकास में पूर्णता लाने के लिए निम्नलिखित समस्या

1 Mosley s Law 2 Rontgen rays 3 Laue 4 Friedrich and Knipping 5 Diffraction 6 Mosley 7 Homologous 8 Displaced 9 Perfecting of the Theory of Bohr The Theory of Sommerfeld

को हल करना अनिवार्य था। एक से अधिक स्वातंत्र्य-कोटि[1] वाले यान्त्रिक निकायों के लिए उपयुक्त क्वाटमीकरण की विधि क्या है?

इस समस्या का १९१६ में विलसन और सामरफेल्ड[2] ने लगभग एक ही साथ हल कर लिया। उन्होंने यह देखा कि जिन यान्त्रिक निकायों से क्वाटम सिद्धान्त का सम्बन्ध है वे सब ऐसे आवर्त कल्प[3] निकाय होते हैं जिनमें चरों का पृथक्करण[4] सम्भव हो जाता है। ऐसे निकायों के सब विविध चर आवर्तत परिवर्तित तो होते हैं, किन्तु साधारणत उनके आवर्तकाल भिन्न भिन्न होते हैं। इसके अतिरिक्त यदि चरों का वरण या निर्वाचन यथोचित हुआ हो तो क्रिया के अनुकल को ऐसे अलग-अलग अनुकलों में विभक्त किया जा सकता है जो केवल एक एक चर पर ही अवलम्बित हों। प्रत्येक ऐसे अनुकल की सीमाओं का विस्तार करके तत्सम्बन्धी चर के पूरे आवर्तन के लिए उसके मान का परिकलन करने से जो राशि प्राप्त होती है उसे 'क्रिया के अनुकल का चानिक आवतन'[5] कहते हैं। स्पष्टत ही जितनी चरों की सख्या होती है उतनी ही सख्या इन आवर्तनों की भी होती है। तब उस निकाय की गतियों के क्वाटमीकरण के व्यापक नियम को प्राप्त करने के लिए इतना ही काफी है कि प्रत्येक चानिक आवर्तन को नियताक $h$ के किसी पूर्ण अपवर्त्य के बराबर रख दिया जाय। यदि चर एक ही हो तो इसी नियम से प्लाक का नियम भी प्राप्त हो जाता है।

जिस विल्सन-सामरफेल्ड क्वाटमीकरण विधि की स्थूल रूपरेखा हमने यहाँ बतायी है उससे उन सब समस्याओं की मीमासा हो सकती है जो बोह्र के परमाणु सिद्धान्त के सामने उपस्थित हो गयी थी। यह सही है कि यदि परमाणु की जटिलता बहुत ही थोडी हो तब भी व्यवहारत यान्त्रिक समस्या की कठिनता से निस्तार नहीं मिलता और प्रगति रुक जाती है। किन्तु इस बाधा का कारण क्वाटमीकरण विधि की अपूर्णता नही है—गत्यात्मक समीकरणों के हल करने की असभवता है।

परमाणु सिद्धान्त की जिन विविध समस्याओं की मीमासा करने में बोह्र असमर्थ रहे उन सबमें सामरफेल्ड ने अपनी आविष्कृत क्वाटमीकरण विधि का उपयोग किया। पहले तो उन्होंने यह प्रमाणित किया कि दीर्घवृत्तीय कक्षाओं[6] के विवेचन से भी हाइड्रोजन परमाणु की क्वाटमित ऊर्जाओं के अनुक्रम में कोई नवीन मान नहीं प्राप्त होते। अत बोह्र द्वारा जो परिणाम पहले ही प्राप्त हो चुके थे उनमें कोई

1 Degree of freedom 2 Wilson & Sommerfeld 3 Quasi period 4 Separation of variables 5 Cyclic period of the integral of action 6 Elliptical orbits

परिवर्तन नहीं हुआ। और प्रकाशीय स्पेक्ट्रमों के सम्बन्ध में उठाने पर भी प्रमाणित हो गया कि स्पेक्ट्रमी रेखाओं की पारस्परिक अतिव्याप्ति[1] का विचार करके बामर नियम के प्रतिरूपी नियमों के स्थान में अन्य सूत्र प्राप्त किये जा सकते हैं जो उस समय तक बामर प्रणाली के ही द्वारा प्राप्त हुए थे, जो स्पेक्ट्रम विज्ञान में रिडबर्ग और रिट्ज के सूत्रों के नाम से विख्यात हैं और जिनके द्वारा आवृत्ति-अनुक्रम में प्रकाशीय रेखाओं का वितरण बामर नियमानुरूपी सूत्रों की अपेक्षा अधिक यथार्थतापूर्वक निर्णीत हो जाता है।

किन्तु स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की सूक्ष्म रचना (फाइन स्ट्रक्चर) का सिद्धान्त ही सामरफेल्ड की सबसे बड़ी सफलता थी। जब उच्च विभेदन शक्ति[2] वाले स्पेक्ट्रमदर्शी के द्वारा हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम का सूक्ष्मता से अध्ययन किया गया था तब यह मालूम हो गया था कि हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम की कुछ रेखाएँ सरल अथवा एकल[3] नहीं होतीं किन्तु वास्तव में वे लगभग बराबर आवृत्तियोंवाली अनेक रेखाओं द्वारा संघटित होती हैं। बोह्र के सिद्धांत से प्राप्त बामर प्रतिरूपी सूत्र में इस सूक्ष्म रचना पर विचार नहीं किया गया था। सामरफेल्ड के मन में यह विचार आया कि परमाणविक इलेक्ट्रानों के लिए प्रतिष्ठित न्यूटनीय यान्त्रिकी के स्थान में आइन्स्टाइन की आपेक्षिकीय यान्त्रिकी का उपयोग करने से शायद स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की जटिलता का स्पष्टीकरण संभव हो जाय। वास्तव में यदि बोह्र के सिद्धांत के सूत्रों पर हम पुनः विचार करें तो हमें मालूम हो जायगा कि परमाणु की ग्रहीय व्यवस्था के अनुसार उन इलेक्ट्रानों के वेग इतने अधिक होते हैं कि आपेक्षिकीय संशोधन का उपयोग अवश्य हो [illegible] है। क्वांटमीकरण की विधि और आइन्स्टाइन की यान्त्रिकी के द्वारा जब [illegible] फिर से किया गया तो सामरफेल्ड ने देखा कि पूर्ववर्ती सिद्धांत द्वारा [illegible] के कुछ क्वांटमित मान विदलित[4] हो गये अर्थात बोह्र द्वारा निर्दिष्ट [illegible] स्पेक्ट्रमीय पद लगभग बराबर मानों के कई स्पेक्ट्रम पदों में विभक्त हो [illegible] ही यह बात सूक्ष्म रचना की घटना की व्याख्या के लिए [illegible] द्विक रेखाओं[5] के संघटकों की आवृत्तियों के अंतर [illegible] कलन द्वारा प्राप्त हुए थे उनका प्रायोगिक मान [illegible]

इस सफलता से उत्साहित होकर [illegible] सूक्ष्म रचना की व्याख्या भी इसी उपाय [illegible] स्पेक्ट्रमों की सूक्ष्म रचनाएँ प्रका[illegible]

1 Overlapping [illegible]

अधिक महत्त्वपूर्ण हैं। वस्तुत एक्स किरण स्पैक्ट्रमा में तो ऐसी द्विक रेखाएँ पायी जाती हैं जिनके संघटकों का विभेदन बहुत आसान होता है और यह आसानी से देखा जा सकता है कि उनकी आवृत्तियों के अन्तर का मान तत्वों के पूरे अनुक्रम में किस प्रकार बदलता है। कुछ द्विक रेखाएँ जो नियमित द्विक[1] कहलाती हैं ऐसा होती हैं जिनमें आवृत्तियों का अन्तर तत्व के परमाणु क्रमांक Z के अनुसार शीघ्रता से बदलता है—लगभग परमाणु क्रमांक के चतुर्थघात के अनुपात में। आपेक्षिकीय यांत्रिकी और क्वांटमीकरण विधि के सम्मेलन से सामरफेल्ड ने इन नियमित द्विकों के अस्तित्व की और उनके $Z^4$ के अनुसार होनेवाले परिवर्तन की व्याख्या करने में सफलता प्राप्त कर ली। विशेष कर L—श्रेणी के द्विक तो सामरफेल्ड के सूत्र से बहुत ही अच्छी तरह निरूपित हो जाते हैं।

सामरफेल्ड ने ये अत्यन्त सन्तोषजनक परिणाम १९१६ में प्रकाशित किए थे और तुरन्त ही ये क्वांटम विधि तथा आपेक्षिकीय यांत्रिकी की अति महान और निश्चित सफलता के प्रतीक बन गये। इनसे जो उत्साह उत्पन्न हुआ वह भी उचित ही था। किन्तु और भी अधिक सूक्ष्म विवेचन के द्वारा यह प्रकट होने में भी देर नहीं लगी कि अभी इस चित्र में कई अस्पष्ट भाग बाकी रह गये थे। पहली बात तो यह थी कि बोह्र और सामरफेल्ड ने जिन धारणाओं और विधियों का उपयोग किया था और जिनसे पुरातन क्वांटम सिद्धान्त का निर्माण हुआ था उनमें कुछ सैद्धान्तिक कठिनाइयाँ उत्पन्न हो गयीं जिनका जिक्र हम इस परिच्छेद के अंतिम अनुच्छेद में करेंगे। इन व्यापक कठिनाइयों के अतिरिक्त सामरफेल्ड के इन परिणामों के विरुद्ध कुछ अधिक विशिष्ट रूप की आपत्तियाँ भी उठ खड़ी हुईं। एक तो प्रकाशीय तथा एक्स किरणीय स्पेक्ट्रमा की वास्तविक सूक्ष्म रचना सामरफेल्ड के सिद्धान्त द्वारा निर्दिष्ट सूक्ष्म रचना से अधिक जटिल होती है। यद्यपि सामरफेल्ड द्वारा निर्णीत स्पैक्ट्रमपदीय योजना बोह्र की योजना से अधिक पूर्ण थी तथापि वह अब भी इतनी प्रशस्त नहीं थी जितनी स्पेक्ट्रम-मापकीय[2] प्रयोगों द्वारा प्रमाणित हो चुकी थी। यह कठिनाई अत्यन्त भयावह थी क्योंकि सामरफेल्ड की क्वान्टम विधि में प्रयोग द्वारा आविष्कृत अतिरिक्त[3] स्पैक्ट्रम-पदों को निविष्ट करने के लिए कोई स्थान नहीं है। वह विधि सुभागी और सर्वांगपूर्ण है और उसका परिवर्धन संभव नहीं मालूम देता। सामरफेल्ड ने आभ्यन्तरिक क्वांटम संख्या[4] नामक एक और परिपूरक[5] क्वांटम संख्या को निविष्ट करके इन अतिरिक्त स्पैक्ट्रमीय

1 Regular doublets 2 Spectrometric 3 Supernumerary 4 Internal Quantum number 5 Supplementary

पदा का वर्गीकरण करन मे ता सफलता प्राप्त कर ली,किन्तु उस सिद्धान्त के मूल आधारा मे इस नये और विजातीय अश को सम्मिलित करने के औचित्य का किसी भी युक्ति के द्वारा समथन नही किया जा सकता। इस आभ्यन्तरिक क्वाटम-सख्या के अस्तित्व की युक्तिसगतता सिद्ध करने के लिए ता इलक्ट्रान के चुम्बकीय गुण के अत्यन्त आधुनिक आविष्कार की आवश्यकता थी।

इस प्रकार सामरफेल्ड का सिद्धान्त स्पक्टमा की सूक्ष्म-रचना की सवागपूर्ण व्याख्या करने के लिए बहुत सकीण प्रमाणित हुआ। उसमे इतनी आशा तो थी ही कि कम-से-कम बामर-श्रेणी की तथा एक्स किरण-स्पैक्ट्रमा के द्विका की तो वह पूर्ण यथाथतापूवक प्रागुक्ति कर सकेगा। किन्तु दुर्भाग्यवश स्पैक्ट्रमा की सरचना के परवर्ती अधिक सूक्ष्म अध्ययना से इस आशा का भी समथन नही हुआ। इस अध्ययन से यह तो स्पष्ट हो गया कि परमाणु की प्रत्येक स्थावर अवस्था कई क्वाटम सख्या ग के एक विशिष्ट समुदाय के द्वारा निर्दिष्ट होनी है और इन क्वाटम सख्याओ का वितरण भी सुनिश्चित होता है। यदि इन बाता को ध्यान मे रखा जाय तो निम्नलिखित अदभुत परिणाम निकलता है। सामरफेल्ड का सिद्धान्त यह तो सही-सही बता देता है कि बामर-श्रेणी म और एक्स किरण स्पैक्ट्रमा मे द्विक-रेखाओ का अस्तित्व होना चाहिए किन्तु जिन स्थानो पर वह इनका अस्तित्व निर्दिष्ट करता है ठीक वही ये द्विक वास्तव में नही होते। यह मानना सभव नही है कि सामरफेल्ड के सूत्रा की जो सफलता दिखाई देती है वह केवल आकस्मिक है। किन्तु ऐसा बोध होता है कि उनके सैद्धान्तिक निमाण म कोई-न-कोई वस्तु अभी तक यथास्थान स्थापित नही हुई है। डिरैक[1] के सिद्धान्त ने तरग यान्त्रिकी और इलैक्ट्रानो के चुम्बकीय गुण के सम्मेलन के द्वारा सभी वस्तुओ का यथास्थान स्थापित कर दिया है और सामरफेल्ड के मूल परिणामा का भी अक्षुण्ण बनाये रखा है। इस प्रकार ऐसा प्रतीत होता है कि इस सुविख्यात भौतिकज्ञ की पथ-प्रदशक धारणाएँ तो सही थी किन्तु जिस समय उन्होंने अपने सिद्धान्त का निर्माण किया था उस समय न तो क्वाटमवाद और न हमारा इलक्ट्रान सम्बन्धी ज्ञान ही इतना उन्नत हो पाया था कि उनका यह निर्माण-काय पूर्णत सतोषजनक हो जाता।

## ४ बोह्र का सिद्धान्त और परमाणुओ की सरचना[2]

बोह्र के सिद्धान्त की मूल धारणा यह है कि परमाणु के भीतर इलक्ट्रान केवल क्वाटमित ऊर्जावाली कुछ स्थावर अवस्थाओ म ही रह सकते है। अत उसमे ऊर्जा

1 Dirac 2 The Theory of Bohr and the Structure of Atoms

के कई स्तर[1] होते हैं और उन्हीं में विभिन्न इलैक्ट्रान वितरित रहते हैं। हमें यह मालूम है कि तत्त्वों की संख्या ९२ है और इनके परमाणुओं में इलक्ट्रानों की संख्या क्रमशः १ से ९२ तक नियमित रूप से बढ़ती जाती है। इसलिए यदि हम उत्तरोत्तर बढ़ते हुए परमाणु क्रमांक के क्रम से सब तत्त्वों पर विचार करें तो हम देखेंगे कि एक एक नये इल्क्ट्रान के आगमन से परमाणुओं की आभ्यन्तरिक इल्क्ट्रानिक व्यवस्था उत्तरोत्तर अधिक जटिल होती जाती है। तत्त्वों की इस आभ्यन्तरिक संरचना का अनुसरण करने से सिद्धांततः उनके रासायनिक तथा स्पैक्ट्रमीय गुणों और चुम्बकीय गुणों का भी कारण हम जान सकेंगे। क्वाटम सिद्धान्त के जन्म से पहले रूसी रसायनज्ञ मैण्डलीफ[2] ने उस समय के समस्त ज्ञात तत्त्वों की ऐसी सूची बनायी थी जिसमें उत्तरोत्तर परमाणु भार बढ़ता जाता था। परमाणुओं का यह क्रम लगभग पूर्णतः वर्धमान परमाणु क्रमांकों का ही क्रम था। तब मालूम हुआ कि इस प्रकार अनुक्रमित तत्त्वों के रासायनिक गुणों में एक प्रकार का आवर्तत्व[3] विद्यमान है। अर्थात् इस सूची में नियमित अन्तरालों पर ऐसे तत्त्वों के नाम थे जिनके रासायनिक गुणों में समानता थी। वस्तुतः यह आवर्तत्व बहुत सरल प्रकार का नहीं है। मैण्डलीफ की सारणी के अन्त की अपेक्षा प्रारम्भ में ये आवर्तत्व के अंतराल छोटे होते हैं और कहीं-कहीं ऐसी गड़बड़ भी दिखाई देती है जिससे नियमितता बिगड़ जाती है। फिर भी आवर्तत्व का अस्तित्व निर्विवाद है और उत्तम परमाणु सिद्धांत से इसका कारण स्पष्ट हो जाना चाहिए। इस उद्देश्य की पूर्ति के लिए बोह्र के सिद्धान्त ने जिस नियम का सिद्धांततः प्रतिपादन किया उसके अर्थ को हम आगे चलकर अधिक अच्छी तरह समझ सकेंगे। इस नियम में यह मान लिया गया कि प्रत्येक क्वाटमित स्तर में एक निश्चित महत्तम संख्या से अधिक इलक्ट्रान नहीं रह सकते। दूसरे शब्दों में ये अंतःपरमाणुक ऊर्जास्तर इलक्ट्रानों से संतृप्त[4] हो जाते हैं। क्वाटमित संरचनाओं का यह गुण सचमुच ही बिलकुल नया तथा अप्रत्याशित था और ऐसे चुपके से स्वीकार कर लिया गया था कि किसी को उसके महत्व का पता भी न लगने पाया।

स्तरों की संतृप्ति की परिकल्पना को स्वीकार कर लेने पर और भौतिक विज्ञान के जिस नियम के अनुसार किसी भी निकाय की स्थायी अवस्था में ऊर्जा का मूल्य लघुतम होता है उसकी सहायता से मैण्डलीफ की सारणी में विद्यमान आवर्तत्व का रहस्य समझना आसान है। यदि स्तरों में संतृप्ति का गुण न होता तो साधारण स्था-

1 Level 2 Mendeleef 3 Periodicity 4 Saturated

अवस्था में समस्त तत्त्वों के सभी इलैक्ट्रान न्यूनतम ऊर्जा के स्तर में ही अवस्थित होते। किन्तु स्तरों के संतृप्त हो जाने के कारण ऐसा नहीं होता। जब हम एक तत्त्व से आगे बढ़कर परवर्ती तत्त्व पर पहुंचते हैं तो सामान्य परमाणु की रचना में जो नया इलैक्ट्रान सम्मिलित होता है वह असंतृप्त स्तरों में से सबसे कम ऊर्जावाले स्तर में स्थान ग्रहण करता है। इसी बात को बहुधा यों कहते हैं कि जिस न्यूनतम ऊर्जावाले स्तर में उसे जगह खाली मिलती है वहीं वह जा बैठता है। जब किसी तत्त्व में निम्नतम ऊर्जा का स्तर इलैक्ट्रानों से संतृप्त हो जाता है तो परवर्ती तत्त्व के अतिरिक्त इलैक्ट्रान को वर्धमान ऊर्जाओं के क्रम में उस संतृप्त स्तर से अगले स्तर में जगह मिलती है। अब यदि मेण्डलीफ सारणी के क्रम से परमाणुओं की संरचना के विकास का अनुसरण करें तो हम देखेंगे कि परमाणु के विविध निम्न ऊर्जा-स्तर उत्तरोत्तर संतृप्त होते जाते हैं। किन्तु यहीं यह महत्त्वपूर्ण बात भी कह देना उचित है कि सूक्ष्म रचना के अस्तित्व से यह भी प्रकट होता है कि परमाणु के आभ्यन्तरिक इलैक्ट्रान की ऊर्जा के क्वाटमित स्तर कई पुंजों[1] के रूप में वितरित होते हैं और प्रत्येक पुंज के स्तरों की ऊर्जाओं में बहुत ही कम अन्तर होता है। हम यों भी कह सकते हैं कि जिन स्तरों की ऊर्जा लगभग बराबर होती है और जो एक ही पुंज में अवस्थित होते हैं उनके द्वारा नाभिक पर एक संपुट[2] सा बन जाता है। और विभिन्न तत्त्वों के परमाणुओं के आनुक्रमिक निर्माण पर ध्यान देने से हम देखेंगे कि स्तरों के उत्तरोत्तर संतृप्त होते जाने के कारण विविध संपुट भी उत्तरोत्तर बनते जाते हैं। किसी एक संपुट के निर्माण के विभिन्न पदों के अनुरूप ही विभिन्न परमाणुओं के सुनिर्दिष्ट रासायनिक तथा स्पेक्टमीय गुणों का अनुक्रम होता है। और जब एक संपुट का बनना समाप्त हो जाता है और दूसरा संपुट बनना प्रारम्भ होता है तब फिर लगभग वैसे ही पदों की पुनरावृत्ति होती है। इससे तत्त्वों की सूची में परमाणुओं के गुणों के प्रेक्षित आवर्तन की सर्वथा स्वाभाविक व्याख्या हो जाती है। मैण्डलीफ-सारणी के आवर्तत्व के अन्तरालों की लम्बाइयों में जो अन्तर है उसका भी स्पष्ट कारण यही है कि भिन्न भिन्न संपुटों में स्तरों की संख्या बराबर नहीं होती और उन्हें संतृप्त करने के लिए आवश्यक इलैक्ट्रानों की संख्याएँ भी भिन्न भिन्न होती हैं। यहां हम इन्हीं संक्षिप्त संकेतों को बताकर संतोष करेंगे। तत्त्वों के गुणों में उत्तरोत्तर जो परिवर्तन होता है वह उनकी इलैक्ट्रानिक संरचना की क्रमशः बढ़ती हुई जटिलता का परिणाम है। इस व्याख्या का प्रतिपादन सबसे पहले कासैल[3] ने किया था। बाद में

1 Groups 2 Shell 3 Kossel

वाह्, स्टानर[1] और मनस्मिथ[2] के प्रयत्नो से विकसित होकर इसकी गहराई और मा बढ गयी और अब यह व्याख्या बहुत सतोषजनक समझी जाती है।

सपुटो और स्तरो में इलेक्ट्रानो के वितरण में और एक्स किरण स्पेक्ट्रमो की सरचना में भी घनिष्ठ सम्बन्ध है। बोह्र के सिद्धान्त के अनुसार एक्स किरणो की उत्पत्ति का वास्तविक कारण यह है कि यदि किसी बाह्य क्रिया के कारण परमाणु के किसी भीतरवाले सपुट में से एक इलेक्ट्रान खीच कर बाहर निकाल दिया जाय तो उस सपुट में एक स्थान रिक्त हो जाता है और तब किसी बहिर्वर्ती सपुट का कोई इलेक्ट्रान आकर उस स्थान का ग्रहण कर सकता है। इस सक्रमण में उसकी ऊर्जा कुछ घट जाती है और इससे बोह्र की मूल धारणाओ के अनुसार विकिरण का एक क्वाण्टम उत्सर्जित हो जाता है। इस प्रकार उत्सर्जित विकिरण से ही एक्स किरण स्पेक्ट्रम की रेखाओं की सृष्टि होती है। अत अधिक गहराई में गये बिना ही यह समझ में आ सकता है कि एक्स किरण क्षेत्र की स्पैक्ट्रमीय रेखाओ के अध्ययन और वर्गीकरण के द्वारा परमाणुओ की अतरग सरचना तथा स्तरो की सतप्ति के सम्बन्ध में हमारी धारणाए अधिक परिष्कृत हो गयी है। अब हम कह सकते है कि स्तरो की सतप्ति का घटना जिसके महत्त्व पर हमने इतना जोर दिया है तत्वो की सारणी में एक्स किरण स्पेक्ट्रमो की उत्तरोत्तरवर्ती प्रगति के द्वारा निर्विवादत प्रमाणित हो गयी है।

परमाणुओ में क्वाटमित स्तरो के अस्तित्व तथा विविध परमाणुओ की सरचना के व्यवस्थात्मक चित्रो का प्रबल समर्थन सघटट-सभूत आयनीकरण[3] के प्रयोगो के द्वारा भी हो गया है। परमाणु मे इलैक्ट्रान जितने ही अधिक नीचे स्तर में अवस्थित होगा उतनी ही अधिक ऊर्जा उसे परमाणु से विच्छिन्न करने में आवश्यक होगी। कल्पना कीजिए कि गस के परमाणुओ पर हम किसी निश्चित ऊर्जावाले कणो की बौछार करते है। जब इन कणो की टक्कर गैस के परमाणुओ से होगी तब उन परमाणुओ के भीतर से वे इलैक्ट्रान तो पृथक होकर बाहर निकल जायेंगे जिनकी विच्छेदन ऊर्जा[4] आपतित कणो की ऊर्जा से कम होगी। यदि इन आपतित कणो की ऊर्जा को क्रमश बढाया जाय तो हम देखेंगे कि जब जब यह ऊर्जा आहत परमाणु के किसी स्तर से इलक्ट्रान को विच्छिन्न करने के लिए आवश्यक ऊर्जा से अधिक हो जायगी तब-तब एक नये प्रकार का विकिरण प्रकट होने लगेगा। इन नवीन प्रकार के विकिरणो की उत्तरोत्तर उत्पत्ति के प्रेक्षण से हमें उस गैस के परमाणुओ की स्तरीय व्यवस्था का पूरा

1 Stoner 2 Main Smith 3 Ionisation by collision 4 Energy of dissociation

ज्ञान (कम से कम सिद्धान्ततः) प्राप्त हो सकेगा। ऐसे प्रयोगों का प्रारम्भ फ्रैंक[1] और हर्ट्ज़[2] ने किया था और उनसे न केवल एकल किरण-स्पक्ट्रमों द्वारा निर्दिष्ट क्वांटमित स्तरों का ही पूर्ण समर्थन हुआ है, किन्तु विभिन्न परमाणुओं में विभिन्न स्तरों के प्रत्याशित वितरण की भी पुष्टि हो गयी है।

## ५ बोह्र के सिद्धान्त की आलोचना

इस परिच्छेद में हमने जो कुछ लिखा है वह बोह्र के परमाणु सिद्धान्त के महत्त्व को प्रकट करने के लिए पर्याप्त है। इस सिद्धान्त का जन्म अर्वाचीन भौतिक विज्ञान के इतिहास में बहुत महत्त्वपूर्ण कदम था। इसके द्वारा स्पैक्ट्रम विज्ञान के अत्यन्त विस्तृत क्षेत्र में ऐक्य स्थापित हो गया और उसमें काम करनेवाले नियमों का स्वरूप भी समझ में आने लगा। और उसके बाद तो क्वांटमीकरण के सुश्रृंखलित सिद्धान्त के व्यापक रूप में (जिसे अब हम पुराना क्वांटम सिद्धान्त कहते हैं) उसे अनेक परमाणवीय घटनाओं की व्याख्याओं में और प्रागुक्ति में अच्छी सफलता प्राप्त हो चुकी है।

फिर भी बोह्र की धारणाओं पर आश्रित प्रशंसनीय सिद्धान्त-समुच्चय आलोचना से मुक्त नहीं हो सका। हमारा संकेत केवल उन थोड़ी-सी असफलताओं की ओर ही नहीं है जिनका उसे कहीं कहीं सामना करना पड़ा था, यथा, सामरफेल्ड के सूक्ष्म रचना-सूत्रों में और स्पैक्टमीय तथ्यों में सांगत्य स्थापन करने में उपस्थित कठिनाइयाँ जिनका जिक्र पहले किया जा चुका है अथवा वह प्रयोग विरुद्ध सैद्धान्तिक मान जो अनाविष्ट[3] हीलियम परमाणु के आयनीकरण विभव[4] के लिए पुराने क्वांटम सिद्धान्त की विधि से बड़े लम्बे परिकलन के द्वारा क्रामर्स[5] ने प्राप्त किया था। ये असफलताएँ तो उस सिद्धान्त के भविष्य के लिए अशुभ थी ही, किन्तु बोह्र की मूल धारणाओं के विरुद्ध भी कई अधिक व्यापक आपत्तियाँ उठ खड़ी हुई जिनमें ऐसा जान पड़ता था कि वे धारणाएँ सुसंगत और सर्वांग-पूर्ण नहीं समझी जा सकतीं और फलतः वे यथार्थतः संतोषजनक भी नहीं हो सकतीं। अब इन आपत्तियों के विषय में भी कुछ शब्द कह देना उचित है।

सबसे प्रथम तो बोह्र का सिद्धान्त क्वांटम-संक्रमणों में उत्सर्जित विकिरण के स्वरूप का पूर्ण यथार्थतापूर्वक निर्णीत करने के लिए बिल्कुल अक्षम सिद्ध हुआ। इसमें सन्देह नहीं कि उस विकिरण की आवृत्ति के सैद्धान्तिक परिकलन का बिल्कुल सही नियम प्राप्त हो गया था किन्तु एक वर्ण विकिरण के पूरे विवरण के लिए यह भी आवश्यक है

1 Frank 2 Hertz 3 Neutral 4 Ionisation potential 5 Kramers

कि हमें उसकी तीव्रता[1] और उसकी ध्रुवण-अवस्था[2] का भी ज्ञान हो। बोह्र स्वयं अपने सिद्धान्त के इस दोष से परिचित थे और इस दोष को दूर करने के लिए सबसे पहले उन्होंने ही अपने आनुरूप्य नियम[3] का १९१६ में प्रतिपादन किया था। अगले परिच्छेद में इस महत्त्वपूर्ण विषय का ही विवेचन किया गया है। इसलिए यहाँ और अधिक कहना उचित नहीं है। किन्तु उत्सर्जित विकिरण सम्बन्धी ज्ञान की पूर्णता के अभाव के अतिरिक्त बोह्र के सिद्धान्त में और भी दूसरी कमजोरियाँ विद्यमान थीं। खास तौर से तो यह कि उसके मूल में एक ओर तो प्रतिष्ठित यान्त्रिकी की धारणाओं और सूत्रों का तथा दूसरी ओर क्वांटम विधियों का विचित्र सम्मिश्रण था। जहाँ प्रारम्भ तो यह मानकर किया जाता था कि अन्त:परमाणुक इलैक्ट्रान चिर-प्रतिष्ठित यान्त्रिकी के द्रव्य-बिन्दु के तुल्य है और वह कूलम्बीय बलों के प्रभाव से अपनी कक्षा पर नियमित रूप से गमन करता है जिससे परमाणु का प्रतिरूप एक असाधारण सूक्ष्म आकारवाले छोटे से ग्रहीय निकाय के समान बन जाता है। किन्तु बाद में इस चिर-प्रतिष्ठित यान्त्रिकी से पूर्णत: संगत चित्रण में अनियमित रूप से बलात् क्वान्टमीय अनुबन्ध घुसा दिये जाते हैं और यह कह दिया जाता है कि प्रतिष्ठित यान्त्रिकी द्वारा परिकलित अनन्त कक्षाओं में से केवल वे ही स्थायी और वास्तव में सम्भव होती हैं जो क्वांटमीकरण की शर्तों को पूरी करती हैं। फलत: परमाणु की अवस्था का परिवर्तन केवल ऐसे ही आकस्मिक संक्रमणों के द्वारा हो सकता है जिनमें ऊर्जा का हानि होती है और विकिरण का उत्सर्जन होता है। आकाश और काल के चिरप्रतिष्ठित संस्थान में इन आकस्मिक संक्रमणों को चित्रित करने का कोई भी सम्भव मार्ग दिखाई नहीं पड़ता। दो संक्रमणों के मध्यवर्ती काल में परमाणु की अवस्था स्थायी रहती है (बोह्र की स्थावर अवस्था) और ऐसा मालूम पड़ता है कि उस अवस्था में परमाणु का बाह्य जगत् से किसी भी प्रकार का सम्पर्क नहीं रहता क्योंकि वह किसी भी विद्युत्-चुम्बकीय विकिरण का उत्सर्जन न करके विद्युत्-चुम्बकीय सिद्धान्त के सुनिश्चित नियमों की पूर्ण अवहेलना करता है और फिर सहसा वह इस स्थावर अवस्था से दूसरी अवस्था में पहुँच जाता है। और इस संक्रमण का न तो कोई विवरण दिया जा सकता है और न आकाश और काल में उसका निरूपण ही सम्भव है। यद्यपि हमने प्रारम्भ चिर-प्रतिष्ठित धारणाओं से किया था किन्तु अन्त में हम उन धारणाओं से बहुत दूर जा पहुँचे हैं और जो सिद्धान्त अपनी प्रारम्भिक धारणाओं को अन्त में बिल्कुल भिन्न

1 Intensity 2 State of Polarisation 3 Principle of Correspondence

कर द उस सागयपूण कहना तो स्पष्टत ही कठिन ह। इस सिद्धान्त के प्रारम्भ में अवश्य ही गति विज्ञानीय चित्रण का सहारा लिया गया था बिन्दु-तुल्य इलेक्ट्रान पूणत परिस्थत आकृति की कक्षाओ मे परिभ्रमण करते हुए माने गये थे और इन कक्षाओ क प्रत्येक बिन्दु पर इलेक्ट्रान में सुनिर्णीत वेग और ऊर्जा की कल्पना की गयी थी। किन्तु इन सबका केवल इतना ही उपयोग था कि इनके द्वारा स्थावर अवस्थाओ की ऊर्जा का तथा स्पेक्ट्रमीय ऊर्जा के पदों का परिकलन सभव हो गया और सौभाग्यवश केवल इन्हीं परिणामो का स्पेक्ट्रमीय परिमापनो और सघट्ट-सभूत आयनीकरण क प्रयोगो के द्वारा सत्यापन सभव ह। क्या इससे यह समझने का लोभ नहीं होता कि यह मत अति यथार्थ प्रतीत होनेवाला प्रतिरूप कृत्रिम है इलैक्ट्रानो की कक्षाओ की आकृति तथा उनमें इलैक्टानो के स्थान और वेग का किसी भी भौतिक वास्तविकता से कोई सम्बन्ध नही है और इस समस्त क्वाटमित खगोलीय यान्त्रिकी द्वारा प्राप्त केवल स्थावर अवस्थाओ की ऊर्जाओ के मानो का ही वास्तव में कुछ भौतिक अर्थ ह ?

जैसा बहुधा होता है परमाणु के क्वाटम सिद्धात के प्रतिभाशाली आविष्कारक ने ही सबसे पहले उसकी कमजोरियो को समझा था और उनके महत्त्व को स्वीकार किया था। उन्होने ही सबसे पहले ग्रहीय प्रतिरूप की अवास्तविकता पर स्थावर अवस्थाओ की धारणाओ के सर्वथा नये स्वरूप पर, इन धारणाओ को आकाश और काल के साधारण सस्थान में व्यवस्थित करने की असभवता पर, तथा मूलत नये माग खोजने की आवश्यकता पर जोर दिया था। अपने आनुरूप्य नियम के द्वारा उन्होने ही एक अनुसरण योग्य दिशा का निर्देशन भी किया था और इन्ही धारणाओ का आश्रय लेकर कई वर्षों के बाद उन्ही के शिष्य वार्नर हाइजनबर्ग[1] को नवीन क्वाटम सिद्धात के एक विशिष्ट रूप के अर्थात क्वाटम-यान्त्रिकी के निमाण में सफलता प्राप्त हुई थी। इस आश्चर्यजनक और अत्यन्त मौलिक प्रयास का वणन हम आगे चलकर करेंगे।

1 Wern r Heisenb rg

# सातवाँ परिच्छेद

## आनुरूप्य-नियम[1]

### १ क्वाटम-सिद्धान्त को विकिरण-सिद्धात में सम्मिलित करने म कठिनाइ

विद्युत्-चुम्बकीय सिद्धात ने इलैक्ट्रान-परिकल्पना के द्वारा पूणता प्राप्त करके गतिशील वैद्युत आवेशा के द्वारा विकिरण के उत्सजन की प्रक्रिया का पूणत स्पष्ट और विकल्पहीन चित्र प्रस्तुत कर दिया था। यदि वैद्युत आवेगा के किसी निकाय का व्यवस्था और गति ज्ञात हो तो इस सिद्धात के द्वारा उत्सर्जित विकिरण की आवृत्तियाँ, तीव्रताएँ और ध्रुवण का परिकलन अत्यन्त यथाथतापूवक हो सकता ह। इस काय में सफलता प्राप्त करने के लिए उसने निम्नलिखित माग का अनुसरण किया था। पहले तो समकाणिक अक्ष-तत्र[2] मे उस दिष्ट राशि[3] के सघटकों[4] का परिकलन किया गया जिसका नाम वैद्युत घूण[5] ह और जो प्रति क्षण उस निकाय क समस्त आवेगा के स्थाना के द्वारा निर्णीत हाती हैं। ये सघटक समय के फलन हात ह जा फूरियर के श्रेणी प्रमार[6] अथवा अनुकल प्रसार[7] के गणितीय सिद्धात के व्यापक प्रमयों के अनुमार सरल-आवत पदा[11] के परिमित अथवा अनन्त अनुक्रम[12] में प्रमारित किय जा सकते हैं। विद्युत चुम्बकीय सिद्धात के अनुसार उस निकाय में से उन सब आवृत्तियो के विकिरण उत्सर्जित हाग जा उस फूरियर प्रसार में विद्यमान हागी। इसके अतिरिक्त यदि किसी विशष आवत्तिवाले विकिरण का वैद्युत दिष्ट[13] समकाणिक अक्ष-तत्र के किसी अक्ष से समान्तर हा तो उस निकाय के वैद्युत घूण के उमी अक्ष से समान्तर सघटक के फूरियर प्रमार[14] में उस आवत्ति का जो सरल आवन पद हागा उसक गणन

1 The Correspondence Principle 2 System of rectangular axes 3 Vectorial quantity 4 Components 5 Electric moment 6 Function Fourier 8 Development in series 9 Development in integrals 10 Theorems 11 Harmonic terms 12 Sequence 13 Electric Vector 14 Fourier expansion

के द्वारा उस विकिरण की तीव्रता का परिकलन तुरत हो सकता है। ये नियम उस निकाय द्वारा उत्सर्जित विभिन्न विकिरणों की आवृत्ति तीव्रता तथा ध्रुवण का पूर्णत निर्णीत करने के लिए पर्याप्त है।

अत यदि विद्युत चुम्बकीय सिद्धात लॉरेंटज प्रदत्त रूप में ही विद्युत की मूल कणिकाओं के लिए भी सप्रयोज्य हो तो उसकी सहायता से रदरफोर्ड-बोह्र प्रतिरूपी परमाणु द्वारा उत्सर्जित विकिरण का अविकल्पी परिकलन भी सभव होना चाहिए। हम पहले ही देख चुके है कि इस प्रकार प्रस्तुत प्रागुक्तियों में कितनी भीषण अयथार्थता होती। यदि किसी परमाणु में से विकिरण के रूप में ऊर्जा अनवरतत निकलती जाय तो निश्चय ही उसके सब इलेक्ट्रान शीघ्र ही नाभिक में गिरकर नष्ट हो जायेंगे और उत्सर्जित विकिरण की आवृत्ति भी बराबर सतत रूप से परिवर्तित होती रहेगी। ऐसा परमाणु अस्थायी होगा और सुनिर्णीत आवृत्तियों की स्पैक्ट्रमीय रेखाओं का अस्तित्व ही सभव नही हो सकेगा। ये परिणाम सर्वथा असगत हैं। इस अनिवार्य आपत्ति से बचने के लिए हम देख चुके है कि बोह्र ने यह परिकल्पना बनायी थी कि स्थावर अवस्था में परमाणु विकिरण का उत्सर्जन नही करता। किन्तु इसका अर्थ तो यह स्वीकार करना है कि स्थावर अवस्था में इलक्ट्रानो की कक्षीय गति के लिए विकिरण के विद्युत चुम्बकीय सिद्धात का उपयोग करना सभव ही नही है।

इस प्रकार विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त से समस्त सम्बन्धो का विच्छेद हो जाने पर क्वाटम सिद्धात के पास कोई भी ऐसा साधन नही रह गया जिससे वह स्पैक्ट्रमीय रेखाओं के रूप में उत्सर्जित विकिरण के लक्षणो की प्रागुक्ति कर सके। किन्तु हम बता चुके है कि जहा तक स्पक्टमीय रेखाओं की आवृत्तियो का सम्बन्ध था, बोह्र ने इस समस्या की मीमासा करने के लिए यह परिकल्पना बनायी थी कि स्थावर अवस्थाओं के बीच में जो सक्रमण होते है उनमें विकिरण का केवल एक ही क्वाटम उत्सर्जित होता है। किन्तु इस आवृत्ति नियम के अनुसार उत्सर्जित विकिरण बहुत ही अपूर्ण रूप से निर्णीत होता है क्योकि वह हमें तीव्रता तथा ध्रुवण के विषय में कुछ भी नही बताता। १९१८ में एक अत्यन्त मौलिक किन्तु थोडी विकट विधि से उन्होने इस कमी को दूर करने में कम-से-कम आंशिक सफलता प्राप्त कर ली। इस विधि का साराश यह था कि परमाणवीय क्षेत्र में चिर प्रतिष्ठित विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त के असफल सिद्ध होने पर भी क्वाटम घटनाओ में और विद्युत चुम्बकत्व के सूत्रो में ऐसा आनुरूप्य स्थापित करने का प्रयत्न किया जाय जिससे हम यह समझ सकें कि विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त के द्वारा स्थूल मापदडीय घटनाओं का अच्छा निरूपण क्यो हो जाता है। फलत

बोह्र एक बहुत ही विचित्र आनुरूप्य नियम के व्यवस्थापन में सफल हो गये। इस नियम ने क्वाटम सिद्धान्त के विकास में बहुत बडा और अत्यन्त उपयोगी काम किया है।

आनुरूप्य नियम का अध्ययन प्रारम्भ करने से पहले यह आवश्यक है कि जिस कठिन समस्या की मीमांसा करने का प्रयत्न बोह्र कर रहे थे उसको भली प्रकार सीमित कर दिया जाय। यह भी स्पष्टतापूर्वक समझ लेना आवश्यक है कि उत्सर्जन की घटना के जो निरूपण एक ओर तो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त ने और दूसरी ओर क्वाटम सिद्धान्त ने किये हैं उनमें कितनी अधिक विभिन्नता है। चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त में गतिशील पारमाणविक इलैक्ट्रान विकिरणा की एक पूरी सतत श्रेणी का उत्सर्जन करता है। अतः इन सब विकिरणों का उत्सर्जन सतत[1] भी होता है और यौगपदिक[2] भी। इसके विपरीत क्वाटम सिद्धान्त में जब तक पारमाणविक इलैक्ट्रान किसी स्थावर अवस्था में रहता है तब तक वह उत्सर्जन नहीं करता और जब वह एक अवस्था से दूसरी अवस्था में संक्रमण करता है तब वह एक-वर्ण[3] विकिरण के केवल एक ही क्वाटम का उत्सर्जन करता है। इसलिए एक ही प्रकार के परमाणुओं के समूह में से जो विभिन्न एक-वर्ण विकिरण उत्सर्जित होते हैं (यथा किसी गैसीय तत्त्व में से उत्सर्जित स्पैक्ट्रमीय रेखाएँ) वे विभिन्न परमाणुओं के संक्रमणों से उत्पन्न होते हैं। दूसरे शब्दों में क्वाटम सिद्धान्त के अनुसार किसी तत्त्व की स्पैक्ट्रमीय रेखाओं का उत्सर्जन असतत होता है और अलग-अलग असलग्न क्रियाओं के कारण होता है। निश्चय ही चिरप्रतिष्ठित धारणाओं और क्वाटम सिद्धान्त की धारणाओं से अधिक विरोधी धारणाओं की कल्पना करना कठिन है और प्रारम्भ में ही यह प्रश्न उठाया जा सकता है कि क्या इन दोनों में सम्पर्क स्थापित करने के लिए कोई पुल बनाना सभव है।

जब हम इस बात पर विचार करते हैं कि स्पैक्ट्रमीय रेखाओं के उत्सर्जन के चिरप्रतिष्ठित चित्र के साथ क्वाटम धारणाओं द्वारा प्रस्तुत सर्वथा भिन्न प्रकार के चित्र का आनुरूप्य किस प्रकार स्थापित किया जा सकता है तब तुरन्त यह मालूम हो जाता है कि यदि यह आनुरूप्य कभी सभव होगा तो उसका स्वरूप केवल सांख्यिकीय ही हो सकता है। वस्तुतः यह तो प्रकट ही है कि चिरप्रतिष्ठित चित्र के साथ आनुरूप्य स्थापित करने के लिए समस्त स्पैक्ट्रमीय रेखाओं के उत्सर्जन का एक साथ ही विचार करना पड़ेगा। किन्तु क्वाटमीय दृष्टि-कोण से एक-वर्ण विकिरण के प्रत्येक क्वाटम का उत्सर्जन अकेले एक ही परमाणु की क्रिया होने के कारण यह तभी सभव हो सकता है जब हम

1 Continuous 2 Simultaneous 3 Mo

एसे परमाणु-समुदाय का विचार करें जिसमें एक-समान प्रकृति के परमाणुओं की बहुत बड़ी संख्या विद्यमान हो और जिसमें अनेक प्रकार के पृथक पृथक संक्रमण लगातार होते रहने के कारण उस तत्त्व की विभिन्न स्पेक्ट्रमीय रेखाओं का उत्सर्जन होता हो। दूसरी ओर विभिन्न रेखाओं की तीव्रता की अपरिग्राह्य धारणा भी क्वाण्टम सिद्धान्त में सांख्यिकीय विचारधारा का अनुसरण करके ही निर्दिष्ट हो सकती है। जब किसी क्वाण्टमित परमाणु का संक्रमण होता है तो यह केवल एक ही क्वाण्टम अथवा एक कण विकिरण की केवल एक ही इकाई का उत्सर्जन करता है। उत्सर्जन की ऐसी एकाकी[1] क्रिया में विकिरण की तीव्रता का प्रश्न ही नहीं उठ सकता। अत तीव्रता निर्णीत करने के लिए भी फिर उसी तरह के बहुसंख्यक एक-से परमाणुओं के समुदाय का विचार करना आवश्यक होगा। ऐसे समुदाय में प्रति सेकण्ड होनेवाले संक्रमणों की संख्या बहुत अधिक होती है। और एक ही प्रकार के समस्त संक्रमणों और उनके कारण उत्सर्जित एक ही आवृत्तिवाले विकिरण के क्वाण्टमों का विचार करके ही तीव्रता की यह सांख्यिकीय परिभाषा बनायी जा सकती है कि तीव्रता ऐसे क्वाण्टमों के मध्यमान आयतन घनत्व[2] का नाम है। इसी प्रकार परिभाषित तीव्रता की ही तुलना चिर-प्रतिष्ठित सिद्धान्त द्वारा परिकल्पित तीव्रता के साथ हो सकती है।

निस्सन्देह अब पाठकों की समझ में आने लगा होगा कि वांछित आनुरूप्य की स्थापना किस प्रकार संभव हो सकती है। एक तरफ तो ऐसे काल्पनिक परमाणुओं का समुदाय लीजिए जो चिर प्रतिष्ठित विद्युत् चुम्बकीय नियमों का पालन करते हों और दूसरी तरफ वास्तविक क्वाण्टमित परमाणुओं का समुदाय लीजिए। इन दोनों समुदायों के द्वारा उत्सर्जित विकिरणों की आवृत्तियों तीव्रताओं और ध्रुवणों में हम ऐसा सम्बन्ध स्थापित करना है कि पहले समुदाय के चिर प्रतिष्ठित विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त की सुपरिचित विधि द्वारा परिकल्पित स्पेक्ट्रमीय उत्सर्जन दूसरे समुदाय के अर्थात् वास्तविक उत्सर्जनों के विषय में कुछ सूचना दे सकें। ऐसे सम्बन्ध का पूर्वत[3] पता लगा लेना निश्चय ही आसान नहीं है। किन्तु बोह्र के विलक्षण रूप से प्रखर मस्तिष्क ने यह काम कर ही डाला और इस दुरूह समस्या की पूर्ण और निश्चित न सही कम से कम ऐसी कार्यनिर्वाहक[4] मीमांसा तो कर ही ली जो अत्यन्त ही उपयोगी तथा गंभीर भौतिक तथ्य से पूर्ण प्रमाणित हुई है। अब उसकी रूप रेखा बताने के लिए उपयुक्त समय आ गया है।

1 Individual 2 Volume density 3 A priori 4 Provisional

## २ बोह्र का आनुरूप्य-नियम

मान लीजिए कि हम चिर प्रतिष्ठित नियमों का पालन करनेवाले बहुसंख्यक काल्पनिक परमाणुओं के समुदाय की तुलना उतनी ही सख्यावाले वास्तविक क्वाटमित परमाणुओं के समुदाय से करना चाहते हैं। यदि हमें पहले समुदाय के परमाणुओं के अतर्गत इलेक्ट्रानों की गति का ज्ञान हो तो हमें उत्सर्जित विकिरण की आवृत्तिया, तीव्रताएँ और ध्रुवण भी परिकलन के द्वारा ज्ञात हो जायेंगे। इन्हीं के द्वारा हम वास्तविक परमाणुओं के विकिरण की आवृत्तिया, तीव्रताओं और ध्रुवणों की प्रागुक्ति करना चाहते हैं। यदि इन वास्तविक राशियों के सम्बन्ध में हमें कुछ भी मालूम न होता तो इस समस्या को सुलझाने का हमारे पास कोई मार्ग ही न रह जाता। किन्तु सौभाग्य से बोह्र के आवर्त्ति नियम की कृपा से हमें इन क्वाटमित परमाणुओं द्वारा उत्सर्जित आवर्त्तियाँ मालूम है। इसलिए पहला काम तो यही है कि इन आवर्त्तियों की उन आवर्त्तियों से तुलना करें जो चिर-प्रतिष्ठित सिद्धान्त के अनुसार उन काल्पनिक परमाणुओं में से उत्सर्जित होनी चाहिए। यदि ऐसी तुलना की जाय तो मालूम होता कि इन दो प्रकार की आवृत्तियों में कोई भी सरल सम्बन्ध विद्यमान नहीं है। अत हमारे उद्देश्य की पूर्ति के मार्ग में प्रगति होने का कोई भी उपाय दिखाई नहीं देता। इसी स्थान पर बोह्र की प्रतिभा निश्चित रूप में प्रकट हुई। बोह्र यह जानते थे कि स्थूल-स्तरीय घटनाओं के क्षेत्र में विद्युत-चुम्बकीय सिद्धान्त सदैव अत्यन्त सन्निकटता पूर्वक यथार्थ प्रमाणित होता है। और क्वाटम-दृष्टि-कोण से स्थूल-स्तरीय घटनाएँ ऐसी होती हैं जिनमें अधिक ऊँची क्वाटम-संख्याओं की आवश्यकता होती है। अत इस बात की बड़ी अधिक सभावना है कि बडी क्वाटम-सख्याओं के क्षेत्र में क्वाटम सिद्धान्त के परिणामों में और चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त के परिणामों में अनन्त-स्पर्शी[1] सम्बन्ध हो। इसलिए इसी क्षेत्र में दोनों सिद्धान्तों का सगम हो सकता है। और हमें चिरप्रतिष्ठित तथा क्वाटमित दोनों ही प्रकार की आवर्त्तियों की परिकलन विधियाँ मालूम है। इसलिए सबसे पहले तो यही देखना चाहिए कि ऊँची क्वाटम-सख्यावाली स्थावर अवस्थाओं के लिए इन आवर्त्तियों में कितना अच्छा मेल हो जाता है।

अब क्वाटमित परमाणु की ऊँची क्वाटम-संख्यावाली बाह्यतम इलेक्ट्रानिक कक्षा का विचार कीजिए और साथ ही काल्पनिक चिर प्रतिष्ठित परमाणु में भी उसी कक्षा का विचार कीजिए। चिर प्रतिष्ठित परमाणुओं में तो वह इलेक्ट्रान विभिन्न

1 Assymptotic

आवृत्तिया का एक पूरा अनुक्रम लगातार उत्सर्जित करता रहता है और य आवृत्तिया कुछ ऐसी मूल आवृत्तियों की प्रसवादी[1] होती ह जिनका निर्णय इलेक्ट्रान गति के फरियर विश्लेषण[2] के द्वारा हो सकता है। क्वाटमित परमाणु में इलेक्ट्रान स्थावर अवस्था म तो उत्सर्जन नही करता किंतु उसकी अवस्था के सक्रमण हो सकते ह और इनके कारण उसमें से जो उत्सर्जन होता ह उसकी आवृत्ति बोह्र के आवृत्ति नियम के द्वारा निश्चित रूप से निर्णीत हो जाती ह। इन दोनो प्रकार की आवृत्तियों पर गौर करने से मालूम होता है कि चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त द्वारा परिकल्पित कालानिक परमाणु की प्रत्येक आवृत्ति के साथ क्वाटमित परमाणु के किसी विशेष सक्रमण का आनुरूप्य ह जिसके कारण उस क्वाटमित परमाणु में से भी ठीक उसी आवृत्ति का उत्सर्जन होता है। अत ऊँची क्वाटम-सख्याओ के क्षेत्र में चिर प्रतिष्ठित प्रक्रिया से उत्सर्जित आवृत्तिया में तथा क्वाटमित इलेक्ट्रान की सक्रमण-सभाव्य आवृत्तिया में बहुत अच्छा सपात या मेल है। चिरप्रतिष्ठित धारणा के अनुसार तो प्रत्येक परमाणु ये समस्त आवृत्तिया एक ही साथ और अनवरत रूप स उत्सर्जित करता है परन्तु क्वाटमित परमाणु में स एक बार में केवल एक ही आवृत्ति का उत्सर्जन हो सकता ह। दोनो प्रकार के उत्सर्जनो की प्रक्रियाओ में इतना गहरा भेद होने पर भी अंतिम परिणाम में कुछ भी फर्क नही पडता और जिन दोनो प्रकार के परमाणु समुदायो पर हम विचार कर रहे ह उन दोनो में से (बडी क्वाटम-सख्याओ के क्षेत्र में) ठीक वही स्पैक्ट्रमीय रेखाएँ उत्सर्जित होती ह।

इस प्रकार बडी क्वाटम-सख्याओ के क्षेत्र म चिर प्रतिष्ठित और क्वाटम सिद्धान्तो की आवृत्ति सम्बन्धी प्रागुक्तियो की एकता का सस्थापन हो जाने पर बोह्र का यह विश्वास हो गया कि इस क्षेत्र में तीव्रताओ और ध्रुवणा के सम्बन्ध में भी चिर प्रतिष्ठित सिद्धान्त जो प्रागुक्तिया हमारे काल्पनिक परमाणु-समुदाय के लिए करता है व वास्तविक परमाणु-समुदाय के लिए भी निश्चय ही सत्य निकलेंगी। वास्तविक क्वाटमित परमाणु ओ म एक एक स्पैक्ट्रमीय रेखा का उत्सर्जन क्वाटमित अवस्थाओ के एक एक सक्रमण के द्वारा होता ह और जैसा हम पहले बता चुके ह किसी भी स्पैक्ट्रमीय रेखा की तीव्रता इस बात पर अवलम्बित होती ह कि औसत रूप मे प्रति सेकंड उस रेखा का उत्पन्न कर सकनेवाला सक्रमण उस परमाणु समुदाय के कितने अंश मे होता है अथात प्रत्येक क्वाटमित परमाणु के लिए प्रति सकड होनेवाले अभीष्ट सक्रमणो की प्रायिकता[3] कितनी ह। अत यदि बोह्र के मतानुसार यह मान लिया जाय कि वास्तविक परमाणुओ

1 Harmonics 2 Fourier Analysis 3 Probability

के समुदाय द्वारा उत्सर्जित किसी भी स्पैक्ट्रमीय रेखा की तीव्रता काल्पनिक परमाणु समुदाय द्वारा उत्सर्जित उसी स्पैक्ट्रमीय रेखा की चिरप्रतिष्ठित विधि से परिकलित तीव्रता के बराबर होना चाहिए, तो विद्युत-चुम्बकीय सिद्धान्त के सूत्रों की सहायता से ही हम उस क्वाटम-संक्रमण की प्रायिकता का मान प्राप्त कर सकेंगे। इस प्रकार कम-से-कम बडी क्वाटम-संख्याओं के क्षेत्र में तो स्पैक्ट्रमीय रेखाओं की तीव्रता की प्रागुक्ति करने की समस्या हल हो जाती है। इस प्रागुक्ति की दृष्टि से बोह्र के मूल सिद्धान्त में कमी यही थी कि क्वाटम-संक्रमणों की प्रायिकता का मान मालूम करने की विधि ज्ञात नहीं थी। प्रत्येक क्वाटम-संक्रमण में और चिरप्रतिष्ठित नियमानुसार विकिरण के किसी एक सरल-आवर्त संघटक में आनुरूप्य स्थापित करने के विचार के द्वारा उपर्युक्त अनन्यस्पर्शी दशा की सीमाओं में संक्रमण की प्रायिकताओं का मान प्राप्त करने का एक सरल और दृढ नियम मालूम हो गया। इसी प्रकार ध्रुवण की समस्या का भी पूरा हल प्राप्त करने के लिए केवल यही मान लेना बिल्कुल स्वाभाविक और काफी था कि जो स्पैक्ट्रमीय रेखाएँ वास्तव में उत्सर्जित होती है उनके ध्रुवण भी ठीक वैसे ही होगे जैसे कि चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त द्वारा प्रागुक्त होते है।

क्वाटम सिद्धान्त की कमियो को पूरा करने के लिए इन असंधेय[1] प्रतिरूपो के संयोजन की जो विलक्षण योजना बनायी गयी थी दुर्भाग्यवश उसका प्रत्येक अंश केवल बडी क्वाटम-संख्याओं के क्षेत्र में ही तथ्यपूर्ण माना जा सकता था। किन्तु परमाणु के सिद्धान्त की दृष्टि से व्यवहारत यह क्षेत्र सबसे कम चित्ताकर्षक है क्योंकि उत्तेजन की कुछ खास असाधारण अवस्थाओं को छोडकर परमाणवीय इलेक्ट्रान सदा छोटी क्वाटम-संख्याओं से सम्बद्ध स्थावर अवस्थाओं में ही अवस्थित होते हैं और साधारण स्पैक्ट्रमीय रेखाएँ ऐसी ही अवस्थाओं में होनेवाले संक्रमणों के द्वारा उत्सर्जित होती है। फलत वास्तविक क्वाटमीय आवृत्तियों में और परमाणु की संक्रमण से पहले की अथवा बाद की अवस्थाओं के लिए चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त द्वारा प्रागुक्त आवृत्तियों में कोई भी सरल सम्बन्ध नहीं है। फिर भी बोह्र ने अत्यन्त साहसपूर्वक यह मान लिया कि बडी क्वाटम-संख्याओं के लिए जो आनुरूप्य स्थापित हो गया है उसे छोटी क्वाटम संख्याओं के लिए भी बहिर्वेशित[2] करने से यह सभव हो जाना चाहिए कि चिरप्रतिष्ठित विधि से तीव्रता और ध्रुवण का जो मूल्याकन हो जाय उसी की सहायता से वास्तविक तीव्रताओं और ध्रुवणों की भी प्रागुक्ति सन्निकटत तो हो ही जाय। यहाँ बहुत विस्तार

1 Irreconcilable 2 Extrapolate

हो जाता है। अब यदि इस प्रकार परिकल्पित रेखाओं की सूची का मिलान वास्तव में प्रेक्षित रेखाओं की सूची से किया जाय तो यह प्रकट होता है कि सभी प्रागुक्त रेखाओं का प्रेक्षणगम्य उत्सर्जन नहीं होता। दूसरे शब्दों में स्पैक्ट्रमीय पदों के संयोजना के द्वारा समस्त वास्तविक रेखाओं की आवृत्तियाँ तो निर्दिष्ट हो जाती है, किन्तु इसका उल्टा वक्तव्य सही नहीं निकलता क्योंकि स्पैक्ट्रमीय पदों के समस्त संयोजना से प्राप्त आवृत्तियाँ वास्तविक स्पैक्ट्रम में सदा प्रकट नहीं होती। अत सिद्धान्त से हमें ऐसे 'वरण नियम'[1] भी प्राप्त होने चाहिए जिनसे हम यह जान सकें कि स्पैक्ट्रमीय पदों के संयोजन कौन-से है जिनका सम्बन्ध वास्तव में प्रेक्षण-गम्य रेखाओं से होता है। इस कार्य के लिए पदों के संयोजना द्वारा प्रागुक्त रेखाओं के अभाव का यह अर्थ समझा गया कि ये सिद्धान्तत विद्यमान रेखाएँ साधारणत शून्य तीव्रता के साथ उत्सर्जित होती है। इस मत का समर्थन इस बात से हो जाता है कि कुछ असाधारण परिस्थितियों में यथा विशेष रूप से प्रचड वैद्युत बल के प्रभाव से कभी-कभी परमाणु में से ऐसी रेखाओं का भी उत्सर्जन हो जाता है जो सामान्यत स्पैक्ट्रम में अनुपस्थित रहती है। अत आनुरूप्य नियम के अनुसार हम यह कह सकते है कि साधारण परिस्थितियों में कुछ विशेष प्रकार के सक्रमणों की आनुषंगिक रेखाओं की तीव्रता शून्य होती है और इसका अर्थ यह है कि उस परमाणु में ऐसे सक्रमण होने की प्रायिकता शून्य होती है। उदाहरण के लिए स्थायी इलैक्ट्रान कक्षा को निर्दिष्ट करनेवाली क्वाटम-सख्याओं में से उस क्वाटम सख्या को लीजिए जो 'दिगशीय क्वाटम-सख्या'[2] कहलाती है। आनुरूप्य नियम यह बताता है कि सामान्य परिस्थितियों में उन्ही सक्रमणों की प्रायिकता शून्य नहीं होती जिनमें इस दिगशीय क्वाटम-सख्या में वृद्धि या कमी केवल १ के बराबर होती है। इससे निम्नलिखित वरण नियम प्राप्त होता है। 'साधारण परिस्थितियों में उन सब स्पैक्ट्रमीय रेखाओं की तीव्रता शून्य होती है अर्थात् वास्तव में वे ही रेखाएं स्पैक्ट्रम में अनुपस्थित होती है जिनसे सम्बन्धित सक्रमणों में दिगशीय क्वाटम-सख्या में वृद्धि या कमी १ के बराबर नहीं होती।' यह वरण नियम जिसके साथ अन्य भी एक ही नियम और जुड गये है सभी प्रकाशीय तथा एक्स किरणीय स्पैक्ट्रमों में बहुत अच्छी तरह सत्यापित हो चुका है और इसके द्वारा ऐसी रेखाओं के वर्गीकरण में भी बहुत सहायता मिलती है जिनकी पहचान न हो चुकी हो। आनुरूप्य नियम ने इन वरण नियमों के सैद्धान्तिक अर्थ को प्रकट करने में बहुमूल्य काम किया है यद्यपि इसमें पद

1 Selection principle 2 Azimuthal quantum number

भी अन्य युक्तियों से इन वरण नियमों का सैद्धान्तिक समर्थन करने के कुछ प्रयास किये गये थे, यथा, रुबिनिविज[1] द्वारा।

क्वाटम सिद्धात से प्रकाश के वर्ण विक्षेपण[2] की घटना की व्याख्या देना बहुत कठिन था। प्रयोगों से ज्ञात होता है कि वर्तनाक[3] का परिवर्तन वस्तुत प्रकाश की आवृत्ति के एक फलन के द्वारा व्यक्त किया जा सकता है। कुछ क्रांतिक आवृत्तियों[4] के निकट वर्तनाक के ये परिवर्तन बहुत ही बड़े हो जाते है। ये क्रांतिक आवृत्तियाँ उस पदार्थ में से उत्सर्जित होनेवाली स्पेक्ट्रमीय रेखाओ के बिल्कुल बराबर होती है। पुराने सिद्धान्तो से भी इन परिवर्तनो की काफी अच्छी व्याख्या हो जाती थी और वर्ण विक्षेपण की घटना की सतोषजनक मीमांसा हो गयी थी। विशेषकर इलेक्ट्रान-सिद्धात मे तो यह माना जाता था कि समस्त भौतिक परमाणुओ मे ऐसे वैद्युत आवेश विद्यमान होते है जिनमें किसी सतुलन बिंदु के इधर उधर सरल-आवर्त दोलन करने की क्षमता होती है (इलेक्ट्रानिक दोलन) और ये आवेश अपने दोलनो के द्वारा विकिरण उत्पन्न करते है। अत इन परमाणवीय दोलको की आवृत्तियाँ उस परमाणु की स्पैक्ट्रमीय रेखाओ की आवृत्तियों के बराबर ही होनी चाहिए। परमाणु पर पड़ने वाला एक-वर्ण प्रकाश उसके आभ्यन्तरिक दोलकों मे प्रणोदित दोलन[5] किस प्रकार उत्पन्न करता है और आपतित तरग के प्रचरण पर इन परमाणु-गर्भीय दोलको के प्रणोदित दोलनो की क्या प्रतिक्रिया होती है इन प्रश्नो के अध्ययन के द्वारा इलक्ट्रान-सिद्धात को आवृत्ति फलन के अनुसारी वर्तनाक परिवर्तन के लिए ऐसा वर्णविक्षेपण सूत्र प्राप्त करने में सफलता मिल गयी थी जो प्रयोग के सर्वथा अनुकूल था। इस सूत्र में विक्षेपण की क्रांतिक आवृत्तियाँ इलेक्ट्रानिक दोलनो की निज आवृत्तियों के बराबर थी अर्थात उस पदार्थ की स्पेक्ट्रमीय रेखाओ की आवृत्तियों के बराबर थी। और इस बात से वास्तविकता का सामंजस्य भी था। किंतु बोह्र के सिद्धात से वर्ण विक्षेपण की व्याख्या करना और भी अधिक कठिन था। बोह्र के परमाणु मे इलेक्ट्रानो के कक्षीय परिभ्रमण की यांत्रिक आवृत्तियों मे स्पेक्ट्रमीय रेखाओ की प्रकाशीय आवृत्तियों का कोई भी सरल सम्बन्ध नही है। इन आवृत्तियों का सम्बन्ध तो सक्रमणो से है, न कि अवस्थाओ से। अत यह समझना बहुत कठिन है कि परमाणु की यांत्रिक अवस्था मे किसी बाह्य प्रकाश-तरग द्वारा प्रेरित परिवर्तन

1 Rubinowicz 2 Dispersion 3 Index of refraction 4 Critical frequencies 5 Forced oscillation

वर्ण विक्षेपण की घटना को कैसे उत्पन्न कर सकता है, क्योंकि यहां मुख्य काम स्पैक्ट्रमीय रेखाओं की प्रकाशीय आवृत्तियों द्वारा सम्पन्न होता है, न कि परमाणु की यान्त्रिक आवृत्तियों द्वारा। बोह्र और उनके अनुयायियों से यह कठिनाई छिपी हुई नहीं थी। आनुरूप्य नियम का आविष्कार हो जाने पर उन्होंने इस समस्या की मीमांसा के लिए भी इस नवीन मार्ग का ही अनुसरण किया। १९२३ में बोह्र के दो शिष्य क्रामर्स और हाइज़नबर्ग[1] ने वर्ण विक्षेपण का एक क्वाटम-सूत्र प्राप्त करने में सफलता प्राप्त कर ली। यह सूत्र चिर प्रतिष्ठित सिद्धान्त के सूत्र से सर्वथा अभिन्न तो नहीं है, किन्तु प्रायोगिक परिणामों से पूर्णतः सुसंगत है। संभवतः क्रामर्स और हाइज़नबर्ग का तर्क सर्वथा निर्विवाद नहीं है, किन्तु आनुरूप्य विधि की भावना ने ही उनको निरन्तर प्रेरणा दी थी और उनका पथ प्रदर्शन किया था। हम कह चुके हैं कि इस विधि से प्राप्त सूत्र ठीक वही नहीं था जो पहले चिर प्रतिष्ठित विधि से प्राप्त हो चुका था। उसमें कुछ अतिरिक्त पद भी विद्यमान थे जिनके वास्तविक अस्तित्व का प्रमाण बाद में लाडनबर्ग[2] के प्रयोगों से मिला था।

वर्ण विक्षेपण सूत्र के अनुसंधान में हाइज़नबर्ग को विश्वास हो गया था कि बोह्र के सिद्धान्त में से प्रत्यक्षतः अप्रेक्ष्य[3] अंशों को यथासंभव निकाल कर उनके स्थान में प्रेक्ष्य[4] तत्त्वों का अधिक उपयोग करना बहुत लाभदायक होगा। उदाहरण के लिए इलैक्टानों की कक्षीय आवृत्तियों को तिरोहित करके उन स्पैक्ट्रमीय आवृत्तियों का उपयोग अधिक करना चाहिए जो बोह्र के नियम के द्वारा संक्रमणों से सम्बद्ध हैं। यह निश्चित है कि इस विश्वास ने ही इस युवक वैज्ञानिक को उस मार्ग का निर्माण कराया था जिस पर चलकर कुछ समय पश्चात् उन्होंने क्वाटम-यान्त्रिकी[5] का आविष्कार किया।

वर्ण विक्षेपण का क्वाटम सिद्धान्त ही पुराने क्वाटम सिद्धान्त की सर्वश्रेष्ठ सफलता थी और उसी में उन नियमों के बीज भी विद्यमान थे जो बाद में अंकुरित और प्रस्फुटित होकर नवीन तरंग-यान्त्रिकी तथा क्वाटम-यान्त्रिकी में बहुत प्रभावशाली सिद्ध हुए हैं।

1 Kramers and Heisenberg 2 Ladenburg 3 Unobservable 4 Observable 5 Quantum Mechanics

## आठवाँ परिच्छेद

# तरंग-यान्त्रिकी[1]

### १ तरंग-यान्त्रिकी के उद्गम और मूल धारणाएँ

१९२३ के लगभग यह बहुत कुछ स्पष्ट हो गया था कि बोह्र का सिद्धान्त और पुराना क्वांटम सिद्धान्त चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के तथा कुछ अत्यन्त नवीन धारणाओं के बीच की मंजिलों के समान ही थे और इन नवीन धारणाओं की सहायता के बिना हम क्वांटमीय घटनाओं के विश्लेषण में गहरे नहीं पैठ सकते। पुराने क्वांटम सिद्धान्त में क्वांटमीकरण के प्रतिबन्ध[2] चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के परिणामों पर किसी-न-किसी प्रकार बाहर से चिपका दिये गये थे। क्वांटमीकरण की अनिवार्य असततता में (जो सूत्रों में पूर्णांकी क्वांटम-संख्याओं के द्वारा व्यक्त होती है) और किसी भी पुरानी यान्त्रिकी (न्यूटन की अथवा आइन्स्टाइन की) द्वारा निर्दिष्ट गतियों की सततता में विचित्र विपरीतता स्पष्ट है। समस्त प्रत्यक्ष प्रमाणों की सहायता से हमें तो ऐसी नयी यान्त्रिकी के निर्माण में सफल होना अभीष्ट था जिसमें क्वांटम धारणाओं का स्थान सिद्धान्त की आधार शिला में ही विद्यमान हो और उन्हें पुराने क्वांटम सिद्धान्त की तरह विशेष उद्देश्य की पूर्ति के लिए पीछे से न जोड़ना पड़े। आश्चर्य है कि इस उद्देश्य की पूर्ति मूलतः भिन्न प्रवृत्तिवाले अनुसंधानकर्ताओं के प्रयास से लगभग एक ही साथ दो अत्यन्त भिन्न मार्गों से हुई थी। एक ओर तो तरंग-यान्त्रिकी का जन्म हुआ और दूसरी ओर क्वांटम यान्त्रिकी का। और पहले पहल तो इन दोनों सिद्धान्तों के स्वरूप और गणितीय पद्धतियाँ बिल्कुल ही विपरीत जान पड़ीं। हम यह समझाने का प्रयत्न करेंगे कि इतने भिन्न दिखाई देनेवाले ये दोनों सिद्धान्त वास्तव में अभिन्न क्यों समझे जा सकते हैं और क्यों प्रत्येक सिद्धान्त दूसरे का किसी अन्य भाषा में गणितीय अनुवाद मात्र है। क्वांटम-धारणाओं पर आश्रित नवीन यान्त्रिकी की स्थापना के ये दोनों प्रयास जो प्रारम्भ में

1 Wave Mechanics 2 Conditions

इतने विरुद्धगामी थे, अन्त में मिलकर एक हो गये है और उनके सम्मिलित रूप को ही नवीन क्वांटम सिद्धान्त का नाम दिया जा सकता है।

तरंग-यान्त्रिकी का जन्म १९२३ में अर्थात क्वांटम-यान्त्रिकी के जन्म १९२५ से कुछ पहले हुआ था। इसके अतिरिक्त गणितीय प्रक्रियाओं की सहायता के बिना ही दूसरे की अपेक्षा पहले सिद्धान्त का विवेचन अधिक अच्छी तरह से किया जा सकता है। इसी कारण यहा भी पहले तरंग-यान्त्रिकी का ही पर्यालोचन किया जायगा और क्वांटम-यान्त्रिकी के विषय में तथा दोनो सिद्धान्तो के संश्लेषण के विषय में विचार अगले परिच्छेद में किया जायगा।

सबसे पहले तो उन बातो पर विचार करना आवश्यक है जिनके कारण हमें १९२३-२४ में तरंग-यान्त्रिकी की मूल धारणाओं का प्रतिपादन करना पड़ा था। उस समय काम्पटन-प्रभाव के आविष्कार से तथा एक्स किरणो के प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के अध्ययन से आइन्स्टाइन की प्राकाशिक क्वांटम की धारणा को प्रबल समर्थन अभी मिला ही था। और अब विकिरण की असतत रचना का और फोटानो के अस्तित्व का विरोध अत्यन्त दुष्कर हो गया था और प्रकाश के सम्बन्ध में तरंगो और कणिकाओं के दुरूह विकल्प की प्रखरता बहुत बढ़ गयी थी। यह मान लेना अनिवार्य हो गया था कि विकिरण के गुणो का सम्पूर्ण विवरण देने के लिए तरंग चित्र और कणिका चित्र दोनों का ही उत्तरोत्तर उपयोग करने के लिए हम बाध्य हैं और आवृत्ति और ऊर्जा के जिस समीकरण को आइन्स्टाइन ने अपने फोटान सिद्धान्त के मूल में स्थापित किया था उससे ही यह भी प्रकट हो गया था कि क्वांटमो के अस्तित्व में और विकिरण के स्वरूप के इस द्वैत[1] में गहरा सम्बन्ध है। उसी समय से यह प्रश्न सर्वथा उचित समझा जाने लगा था कि क्या तरंगो और कणिकाओं का यह विचित्र द्वैत (जिसका प्रकाश इतना स्पष्ट, किन्तु चित्त को उद्विग्न करनेवाला उदाहरण है) क्वांटम के इस प्रच्छन्न, किन्तु गंभीर लक्षण को समस्त घटना-चक्र में ही निविष्ट नहीं कर देता और क्या हमें यह आशा नहीं करनी चाहिए कि जहाँ कहीं भी प्लाक के नियतांक का अस्तित्व प्रकट होता वहीं सर्वत्र उसी प्रकार के द्वैत का भी अस्तित्व अवश्य पाया जायगा। किन्तु तब यह प्रश्न भी स्वयं ही उपस्थित हो जाता है कि जब परमाणु की स्थावर अवस्थाओं का अस्तित्व इलेक्ट्रान के गुणो में क्रिया के क्वांटम का प्रभाव प्रकट करता है तब यही क्यों न समझ लिया जाय कि प्रकाश के ही समान इलेक्ट्रान के गुणो में भी द्वैत है। प्रश्न

1 Duality

पहल तो यह धारणा वडी साहसिक मालूम हुइ हागी क्योकि उस समय तक इलक्टान सवदा ठीक ऐस द्रव्य विदु के समान ही प्रमाणित हुआ था जा चिर प्रतिष्ठित यात्रिकी के नियमा का (और विशप परिस्थितिया म आइन्स्टाइन के आपक्षिकता सिद्धान्त द्वारा सशाधित नियमा का) पालन करता ह। तब तक व्यतिकरण और विवतन की घटनाआ में प्रकट हानेवाले प्रकाश के गुणा के सदश तरगीय लक्षण इलक्टान मे कभी भी स्पष्टत दिखाई नही दिये थे। प्रायागिक प्रमाण के पूण अभाव के कारण इलैक्टान मे तरगीय लक्षणा की धारणा केवल कपोल कल्पित और सवथा अवैज्ञानिक ही समझी जा सकती था। फिर भी ज्या ही हमारे मन मे यह विचार उत्पन हुआ कि शायद इलैक्ट्रान मे और अधिक व्यापक रूप से प्रयक भौतिक कणिका मे भी तरगीय लक्षणो का अस्तित्व स्वीकार करना उचित होगा त्या ही कई चित्त को उद्विग्न करनेवाली बातें याद आयी। पहले परिच्छेद में हम बता चुके ह कि याकोबी के सिद्धान्त की सहायता से चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी म द्रव्य विदु क सभाय गमन-पथा का एसा वर्गीकरण सभव हा गया था जिससे प्रयेक वग क गमन पथा की तुलना ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के अथ में किसी तरग प्रचरण की किरणा स हा सकती थी। इस अद्भुत समानता के ही कारण न्यूनतम-क्रिया के नियम का एक तरह से फरमा क न्यूनतम समय के नियम का अनुवाद मात्र ही समझना सभव हा गया था। यह निश्चित है कि प्रकाश विज्ञान और गति विज्ञान क इस विशेष प्रकार के निरूपण की एकरूपता हमिल्टन के समान तीक्ष्ण बुद्धिवाले गणितज्ञा की दृष्टि से छिपी नही रही हागी किन्तु ऐसा नही मालूम हाता कि उन्हाने इसका कोई भौतिक अथ खाजने का प्रयत्न किया हो। इसक अतिरिक्त बहुत-सी बात ऐसी भी थी जिन्हान इस प्रयत्न का विराध किया हागा। सबस पहली और प्रमुख बात तो यह थी कि याकाबी क सिद्धान्त न ता तरग प्रचरण में और किसी विशेष कणिका के सभाय गमन पथा के वग म ही आनुरूप्य स्थापित किया था। किन्तु चिरप्रतिष्ठित धारणाआ क अनुसार प्रत्यक भौतिक वास्तविक अवस्था मे कणिका का गमन पथ पूणत सुनिर्णीत होता ह और सभाय गमन पथा क समुदाय की धारणा ऐसी अमूत है जिसकी कल्पना करने का गणितज्ञा का ता पूरा अधिकार ह किन्तु एसा नही मालम हाता कि भौतिकज्ञ उसमे काई वास्तविकता स्वीकार कर सके। दूसरे दाना क गणितीय स्वरूप मे भी कुछ ऐसी विभिन्नता विद्यमान थी जिससे प्रकट हाता था कि भौतिक दृष्टि म कणिका का गति की तुलना तरग प्रचरण म नही की जा सकती। जस यदि हम चाहें कि कणिका क वग का तरग क वग क बराबर समस ले ता बाधा यह उपस्थित हाती ह कि ये दाना वेग एक ओर मापरटयूइस क नियम में और दूसरी आर फरमा के

नियम में एक ही प्रकार निविष्ट नहीं है। इन सुपरिचित कठिनाइयों के होते हुए भी यह देखकर बड़ा आश्चर्य होता है कि चिरप्रतिष्ठित वैश्लेषिक यान्त्रिकी में इन स्थूल-पथों और तरंग प्रचरण की किरणों का वैधानिक सादृश्य क्रिया के ही माध्यम के द्वारा स्थापित हुआ था अर्थात ठीक उसी राशि के द्वारा जिस पर क्वाण्टम आश्रित है। वस्तुतः क्या इस बात से उस मत का समर्थन नहीं हो गया कि क्रिया का क्वाण्टम ही द्रव्य विद्युत के कणिकामय और तरंग मय स्वरूपों के बीच में बंधन का काम करता है।

इसके अतिरिक्त कुछ अन्य बातों का भी संकेत इसी ओर था। यदि यह सत्य है कि स्थूल-स्तरीय घटनाओं में सदा ही इलैक्ट्रॉन को सरल कणिका के समान समझा गया है तो परमाणु-गर्भ में उसका अस्तित्व व्यक्त करने के लिए क्या यह अनिवार्य नहीं है कि उस पर क्वाण्टमीकरण की ऐसी विचित्र शर्तें लगायी जायँ जिनमें पूर्णांकों का प्रादुर्भाव हो? चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी का उपयोग इलैक्ट्रॉन पर करने के लिए इस प्रकार के प्रतिबंध लगाने की आवश्यकता से उसकी असम्पूर्णता ही प्रकट होती है और यह भी स्पष्ट हो जाता है कि इलैक्ट्रॉन में सरल कणिका के गुण सदैव विद्यमान नहीं रहते। गौर करने पर पारमाणविक इलैक्ट्रॉनों की स्थावर अवस्थाओं को निर्दिष्ट करने के लिए पूर्णांकों का उपयोग भी तो ठीक इसी बात का संकेत करता है। सच तो यह है कि पूर्णांकों का उपयोग बहुधा भौतिक विज्ञान की उन सब शाखाओं में किया जाता है जिनमें तरंगों का अस्तित्व माना जाता है यथा प्रत्यास्थता में, शब्द विज्ञान में प्रकाश विज्ञान में। ये अप्रगामी तरंगों[1] की, व्यतिकरण की, और अनुनाद[2] की घटनाओं में भी प्रकट होते हैं। अतः यह सोचना अनुचित नहीं था कि क्वाण्टमीकरण के प्रतिबंधों का ठीक-ठीक अर्थ समझने के लिए परमाणु-गर्भीय इलैक्ट्रॉनों में भी तरंग के लक्षणों का अस्तित्व स्वीकार करना पड़ेगा। इसी लिए इलैक्ट्रॉन में और व्यापकतः सभी कणिकाओं में फोटान के ही समान द्वैत भाव निविष्ट करने का और उसमें क्रिया के क्वाण्टम के द्वारा अनुबन्धित तरंग रूप तथा कणिका रूप दोनों की ही स्थापना करने का प्रयत्न अत्यन्त आवश्यक और लाभकारी समझा गया था।

## २ कणिका और उसकी आनुषंगिक तरंग[3]

मुख्यतः समस्या क्या थी? वास्तव में समस्या यही थी कि किसी कणिका की गति के साथ किसी ऐसी तरंग के प्रचरण का ऐसा सम्बन्ध किस प्रकार स्थापित किया जा

1 Stationary waves 2 Resonance 3 The Corpuscle and its associated wave

कि जिससे तरंग का निर्गत करनेवाली राशियों व तथा कणिका की गत्यात्मक राशियों के बीच में ऐसा समावरण प्राप्त हो सके जिसमें निश्चार[1] विद्यमान हों। और यह सम्बन्ध ऐसा भी होना चाहिए कि तरंग और कणिका के सम्बन्ध को व्यक्त करनेवाले व्यापक नियमों का उपयोग फाटान पर करने से वही सुपरिचित और सुस्थापित समीकरण प्राप्त हो जाय जो प्रकाश-तरंगों तथा और फाटानों का सम्बन्ध प्रकट करने के लिए आइन्स्टाइन द्वारा स्थापित किये गये थे।

इस प्रकार प्रस्तुत समस्या की मीमांसा के लिए यह स्वाभाविक ही था कि पहले उस सरलतम समस्या पर ध्यान दिया जाय जिसमें कणिका की गति सरल रेखात्मक हो, उसका वेग अचर रहे तथा उसकी ऊर्जा और संवेग भी अपरिवर्ती हों। समिति[1] के विचार से स्पष्ट है कि इसके साथ ऐसी ही तरंग को सम्बद्ध किया जा सकता है जो कणिका की गति की ही दिशा में चल रही हो। अब मालूम यह करना है कि इस तरंग की आवृत्ति और तरंग-दैर्घ्य में और उससे सम्बन्धित कणिका की गत्यात्मक राशियों में क्या सम्बन्ध है। आपेक्षिकता के सिद्धान्त के व्यापक नियमों से ये परिणाम निकले कि कणिका की ऊर्जा तथा प्लांक के नियतांक के गुणनफल के बराबर ही आनुषंगिक तरंग की आवृत्ति होगी और प्लांक के नियतांक में कणिका के संवेग का भाग देने से जो भागफल प्राप्त होगा वह उस तरंग के तरंग-दैर्घ्य के बराबर होगा। कणिका तथा आनुषंगिक तरंग का यह सम्बन्ध ठीक वही था जिसका आइन्स्टाइन ने फाटान और उसकी आनुषंगिक तरंग के लिए उपयोग किया था। इस तरह से एक महत्त्वपूर्ण सरूपण सम्भव हो गया क्योंकि इसके द्वारा प्रकाश और द्रव्य कणिकाओं में बिल्कुल एक ही प्रकार के द्वैत की स्थापना हो गयी।

इसके अतिरिक्त एक अन्य मार्ग से भी कणिका और उसकी आनुषंगिक तरंग का सम्बन्ध निर्दिष्ट करने की वही विधि प्राप्त हो गयी। हम कह चुके हैं कि याकोबी के सिद्धांत ने कणिका के गमन-पथ और तरंग प्रचरण की किरण की एकता को व्यक्त करने का यह उपाय बताया था कि कणिका के क्रिया अनुकल को फरमा के तरंग-अनुकल से अभिन्न मान लिया जाय ताकि न्यूनतम क्रिया के नियम और न्यूनतम समय के नियम में कोई भेद न रहे। इस उपाय से पुनः एक बार तो ऊर्जा और आवृत्ति का तथा दूसरी ओर संवेग और तरंग दैर्घ्य के व्युत्क्रम का अनुपातत्व तुरंत ही प्रकट हो जाता है। इसके बाद आपेक्षिकीय विधि से पुनःस्थापित आनुषंगिकता को पुनः प्राप्त करने के लिए

1 Symmetry

केवल इतना ही काफी है कि इस अनुपातत्व के नियतांक को $h$ के बराबर रख लिया जाय। ऐसा करना स्वाभाविक भी है और द्वैत के दोनों पदों को क्रिया के क्वांटम के द्वारा सम्बद्ध करने के उद्देश्य से सुसंगत भी है। तर्क की इस नयी परम्परा में आपेक्षिकीय धारणाओं का कोई प्रकट उल्लेख नहीं है। अतः न्यूटनीय यान्त्रिकी की परिसीमा में ही इसका विकास सम्भव है।

इन मूल बातों से ही आनुषंगिक तरंग में और कणिका के वेग में जो सम्बन्ध है उस विषय में एक महत्त्वपूर्ण परिणाम और भी आसानी से निकल आता है। तरंग सिद्धान्त में किसी विशेष आवृत्ति की एक-वर्ण तरंग के साथ-साथ कुछ सीमित तरंग-संघों के अस्तित्व की भी धारणा आवश्यक होती है जो विविध एक-वर्ण तरंगों के अध्यारोपण के द्वारा निर्मित होते हैं। इनमें से उन तरंग-संघों पर ध्यान देना अधिक महत्त्वपूर्ण है जो ऐसी एक-वर्ण तरंगों के द्वारा निर्मित हों जिनकी आवृत्तियाँ किसी विशेष माध्य आवृत्ति के आसपास के अत्यन्त छोटे से स्पैक्ट्रमीय क्षेत्र में सीमित हों। हम पहले भी कह चुके हैं कि वास्तव में विशुद्ध एक-वर्ण तरंग केवल कल्पना मात्र है जिसके भौतिक अस्तित्व का कोई प्रायोगिक प्रमाण नहीं है। प्रयोगों में जिसे हम एक-वर्ण तरंग कहते हैं वह सदैव ऐसा ही तरंग-संघ होता है जिसकी संघटक तरंगें अत्यल्प स्पैक्ट्रमीय क्षेत्र में सीमित होती हैं। अब यदि किसी तरंग-संघ के प्रचरण का ऐसी परिस्थिति में अध्ययन किया जाय जिसमें प्रत्येक एक-वर्ण तरंग का वेग उसकी आवृत्ति का फलन हो तो यह ज्ञात हो जाता है कि सम्पूर्ण तरंग-संघ का वेग उसकी संघटक तरंगों के वेग से भिन्न होता है। यह संघ-वेग[2] संघ की माध्य आवृत्ति के फलन के द्वारा व्यक्त किया जा सकता है और संघटक तरंगों के वेग के आवृत्ति-अनुचारी परिवर्तन पर भी अवलम्बित होता है। इसका मान जिस सूत्र के द्वारा मालूम किया जा सकता है वह "रेले का सूत्र"[3] कहलाता है क्योंकि सबसे पहले विख्यात अंग्रेज भौतिकज्ञ लार्ड रेले ने ही इसका आविष्कार किया था। हम संघ-वेग के इस सिद्धान्त का कणिका की आनुषंगिक तरंग के लिए उपयोग करने का प्रयत्न कर सकते हैं और तब हम किसी कणिका की विशेष ऊर्जायुक्त सरल रैखिक और अचर-वेगीय गति में तथा उसी दिशा में प्रचरण-शील तरंग-संघ में आनुरूप्य स्थापित कर सकते हैं जिसकी आवृत्ति ... ऊर्जा को $h$ का भाग देने से प्राप्त भागफल के बराबर हो। इस प्रकार रेले के सूत्र का उपयोग करने पर इस तरंग-संघ का वेग चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी द्वारा निर्दिष्ट कणिका-वेग के बराबर

1 Wave group 2 Group velocity 3 Rayleigh's formula

निकलता है। यह आश्चर्यजनक मेल बहुत संतोषजनक है क्योंकि इसका अर्थ यह होता है कि ऐसी गति में कणिका अपने आनुषंगिक तरंग-संघ के साथ बराबर जुड़ी रहती है। इसके अतिरिक्त साधारण तरंग सिद्धांत से हमें यह भी मालूम है कि यह संघ वेग तरंगों की ऊर्जा के परिवहन[1] के वेग के अतिरिक्त और कुछ नहीं है। और चूंकि हमारी द्वैत धारणा के अनुसार ऊर्जा का निवास कणिका में भी रहता है अतः आनुषंगिक तरंगों का संघ-वेग कणिका के वेग के बराबर होना ही चाहिए।

इन संतोषजनक प्रथम परिणामों में अपूर्णता थी क्योंकि वे केवल बल क्षेत्र के अभाव में होनेवाली कणिका की सरल रखिक अचर-वेगीय गति के ही लिए प्राप्त किये गये थे। किंतु इनको अधिक व्यापक बनाने में कठिनाई ज्यादा नहीं थी। उदाहरण के लिए किसी अपरिवर्ती बल क्षेत्र में कणिका की गति पर विचार कीजिए। याकोबी के सिद्धान्त के अनुसार कणिका के गमन-पथ को हम किसी विशेष तरंग प्रचरण की किरण समझ सकते हैं और न्यूनतम क्रिया नियम तथा फरमा के नियम की एकात्मता के कारण कणिका तथा उसकी तरंग का सम्बन्ध प्रकट करनेवाले समीकरण हमें पुनः प्राप्त हो जाते हैं जिनके अनुसार कणिका की अपरिवर्ती ऊर्जा तरंग की आवृत्ति और $h$ के गुणनफल के बराबर होती है और कणिका का संवेग (जो बल क्षेत्र में बिंदु बिंदु पर बदलता जाता है) और आनुषंगिक तरंग के तरंग दैर्घ्य के भागफल के बराबर होता है। यह तरंग दैर्घ्य भी बिंदु बिंदु पर बदलता रहता है। और भी अधिक व्यापकता के लिए ऐसे बल-क्षेत्रों पर विचार कीजिए जो समय के साथ बदलते भी रहते हैं। अब भी सर्वत्र हमें कणिका की गत्यात्मक राशियों में और आनुषंगिक तरंग की आवृत्ति तथा तरंग दैर्घ्य जैसी राशियों में उसी रूपवाले समीकरण प्राप्त हो जाते हैं।

कणिका और उसकी आनुषंगिक तरंग के आनुरूप्य के इस व्यापकीकरण का निम्नलिखित उपयोग यह स्पष्ट प्रकट करता है कि हम ठीक रास्ते पर हैं। यदि हम इस बात का विवेचना करें कि तरंग सिद्धान्त के अनुसार इलैक्टान की आनुषंगिक तरंगें बोह्र के परमाणु के अंदर किस प्रकार आचरण करती हैं तो हम क्वांटमीकरण के प्रतिबंधों का वास्तविक अर्थ समझ में आ जायगा। ये प्रतिबन्ध इस बात को प्रकट करते हैं कि इलक्ट्रान के गमन पथ की लम्बाई उसकी आनुषंगिक तरंग के दैर्घ्य की अनुगामी होती है। दूसरे शब्दों में पारमाणविक इलक्टान की स्थावर अवस्था में आनुषंगिक तरंग स्वयं भी तरंग सिद्धान्तीय अप्रगामी तरंग[2] होती है।

1 Transport 2 Stationary wave

इस परिणाम का वास्तविक महत्त्व समझने के लिए यह याद दिलाना आवश्यक है कि अप्रगामी तरंग कैसी होती है। जिस माध्यम में तरंग प्रचरण हो सके यदि वह सीमित हो तो उस माध्यम में अप्रगामी तरंग उत्पन्न हो सकती है अर्थात उसमें ऐसे कम्पन (वाइब्रेशन्स) उत्पन्न हो सकते हैं जिनका आकाशीय रूप काल प्रवाह के कारण बदलता नहीं। इन कम्पनों का रूप तरंग-समीकरण के स्वरूप के द्वारा, माध्यम की सीमाओं की आकृति के द्वारा तथा इन सीमाओं पर विद्यमान परिस्थितियों के द्वारा निर्णीत होता है। जैसे बहुधा ऐसा होता है कि माध्यम की सीमाओं पर उपस्थित परिस्थितियाँ वहाँ पर कम्पनों के आयाम[1] को शून्य बना देती हैं (यथा दोनों सिरों पर आबद्ध[2] कम्पनशील तार, दोनों सिरों पर विलागित[3] रेडियो का एरियल) ऐसी अवस्था में हमें तरंग-समीकरण के ऐसे हल चाहिए जो काल की अपेक्षा आवर्तत्व युक्त हों, जिनके आयाम माध्यम में सर्वत्र परिमित[4], एकमानीय[5] तथा सतत[6] हों और माध्यम की सीमाओं पर शून्य के बराबर हों। यह समस्या आकाश के किसी सीमित क्षेत्र के लिए तथा उसकी सीमाओं की विशेष परिस्थितियों के लिए व्युत्पन्न[7] अथवा आंशिक अवकलों[8] के समीकरणों के इष्ट-मान[9] मालूम करने की गणितीय समस्या ही है। इसके बहुत से सरल उदाहरणों से सभी भौतिकज्ञ परिचित हैं यथा अप्रगामी प्रत्यास्थ तरंगें[10] जो अचल सिरावाले कम्पनशील तार में उत्पन्न होती हैं और जिनकी आवृत्तियाँ किसी मूल-आवृत्ति के पूर्णांकी अपवर्त्यों के बराबर होती हैं और अप्रगामी विद्युत-चुम्बकीय तरंगें जो रेडियो के ऐसे एरियल[11] में पैदा होती हैं जिसका एक सिरा तो विलागित हो और दूसरा भसपृक्त हो और जिनके तरंग-दैर्घ्य एरियल की लम्बाई से चार गुनी लम्बाई में क्रमागत[12] विषम पूर्णांकों[13] का भाग देने से प्राप्त होते हैं।

जिस तरंग-यान्त्रिकी का हम जिक्र कर चुके हैं उसकी विचारधारा का उपयोग परमाणु के लिए करने पर हम इस परिणाम पर पहुँचते हैं कि बाह्य की स्थावर अवस्थाएँ वे ही होती हैं जिनमें पारमाणविक इलक्ट्रानों की आनुषंगिक तरंगें अप्रगामी होती हैं। इस बात को अस्वीकार नहीं किया जा सकता कि यह व्याख्या क्वांटमीय प्रतिक्रिया के वास्तविक अर्थ पर बहुत प्रकाश डालती है और जिन मूल धारणाओं की रूपरेखा ऊपर बतायी गयी है उनकी तथा उनके द्वारा कणिकाओं के साथ तरंगों की आनुषंगिकता स्थापित करने की विधि की यथार्थता को अत्यन्त प्रायिक[14] बना देती है। फिर भी

1 Amplitude 2 Fixed 3 Insulated 4 Finite 5 Single valued 6 Continuous 7 Derivatives 8 Partial differentials 9 Proper values 10 Elastic waves 11 Antenna 12 Successive 13 Odd integers 14 Probable

दा कठिनाइया अधिक स्पष्टता म हमारे सामने उपस्थित होती ह जिनका यहा बता दना उचित है क्याकि आगे जिन विषया का विवेचन किया गया है उन्हें अच्छी तरह समझन के लिए इन कठिनाइया का अध्ययन बहुत ही जरूरी है।

पहली कठिनाई का कारण तो यह है कि परमाणु की स्थावर अवस्था की आनुषगिक तरगा की अप्रगामिता का निदशन करने के लिए हमने एस सूत्रा का उपयाग किया है जिनसे कणिका की गति की आनुपगिकता एसी तरग से स्थापित होती है जिसका प्रचरण ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान द्वारा निर्दिष्ट विधि म हाता ह। जा धारणाएँ वस्तेपिक यान्त्रिकी में सुपरिचित ह वस्तुत उन्ही का क्वाटमीय भाषा में रूपान्तरित करके चिरप्रतिष्ठित पद्धति मे निर्दिष्ट कणिका के गमन-पथा म और तरग प्रचरण की किरणा म आनुरूप्य स्थापित किया गया ह। हम परिच्छेद २ के खड २ मे बता चुके है कि तरग सिद्धान्त के *व्यापक दृष्टि-कोण से ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान* केवल प्रथम सन्निकटन मात्र है और वह तभी तक माय हो सकता है जब तक कि प्रचरण स्वच्छद हो तथा उसके माग में काई रुकावट[1] उपस्थित न हो आर साथ ही प्रचरण का वग एक बिदु से परवर्ती पाश्वस्थ बिदु तक पहुँचने में बहुत शीघ्रता से न बदले। किन्तु यह समझना आसान ह कि पारमाणविक इलक्टान की आनुपगिक तरग के सम्बन्ध मे दूसरी शत पूरी नही हाती। अत परमाणु की क्वाटमिक अवस्था की आनुपगिक तरग की अप्रगामिता को प्रमाणित करने के लिए जिस विधि का उपयोग किया गया था वह कठोरत नियमानुकूल नही समझी जा सकती। समस्या को यथाथ रूप में प्रस्तुत करने के लिए पहले तो यह आवश्यक ह कि इलक्ट्रान की आनुपगिक तरग का प्रचरण-समीकरण स्थापित किया जाय और तब उस समीकरण द्वारा नियन्त्रित परमाणु गर्भीय तरगा के इष्ट माना की जा समस्या उपस्थित हो उसका हल निकाला जाय। अगले अनुच्छेद में हम देखेंगे कि इस समस्या को कसे हल किया गया था और किस प्रकार उस हल के परिणाम प्रारम्भिक सन्निकटित निगमना से अविरोधी निकले। किन्तु यहा उस व्यापक धारणा पर जार दना आवश्यक ह जो उपयुक्त विवेचन में निहित ह। वह महत्त्वपूर्ण धारणा यह है। चकि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान केवल एक सन्निकटन[2] मात्र है जो कुछ विशेष परिस्थितिया मे ही माय है और चूकि चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी में और ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान की विधि मे निर्णीत तरग प्रचरण मे आनुरूप्य स्थापित हो गया ह इसलिए ऐसा मालूम पडता है कि चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी भी

1 Obstacle 2 Approximation

और यह प्रमाणित किया जा सकता है कि यदि आकाश में किसी प्रकार म अग्रगामी कम्पन सभव हो तो चाहे कभी भी कम्पन क्यों न हो। वह अनंत परिमित अथवा अनन्त सम्यक् कम्पनों का अध्यारोपण समझा जा सकता है। इन व्यापक धारणाओं का उपयोग क्वाटमित परमाणु निकायों के लिए करने पर उपयुक्त कठिनाइ तुरन्त प्रत्यक्ष हो जाती है। बोह्र की प्रारम्भिक धारणाओं के अनुसार यह आवश्यक था कि परमाणु सदा किसी-न किसी स्थावर अवस्था म रहे। यदि क्वाटमों में निश्चित अगननता का पहले से ही मान लिया जाय तो परमाणु की अवस्था के चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकीय चित्र के विरुद्ध कोई भी बात नहीं उठायी जा सकती। किन्तु यदि यह मान लिया जाय कि स्थावर अवस्थाओं में और अग्रगामी कम्पनों में आनुरूप्य होता है तो ऊपर बताया हुआ व्यापक सिद्धान्त हम यह कहने के लिए बाध्य करेगा कि यह बात बड़ी असाधारण होगी कि किसी परमाणु की तात्क्षणिक अवस्था अकेली एक ही स्थावर अवस्था का रूप ले। साधारणत वह अनेक स्थावर अवस्थाओं के अध्यारोपण का परिणाम होती है। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के आधार तो यही कहना पड़ेगा कि यह कथन अर्थहीन है क्योंकि इस बात की कल्पना ही नहीं हो सकती कि कोई भी परमाणु एक ही समय में अनेक विभिन्न अवस्थाओं में रह सके। इस कठिनाई से यह स्पष्ट हो जाता है कि नवीन यान्त्रिकी के विकास के लिए चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की मूल धारणाओं में गभीर परिवर्तन करना आवश्यक होगा। जैसा हम पहले ही कह चुके हैं इस परिवर्तन की आवश्यकता बीजरूप से किया के क्वाटम के अस्तित्व मे ही विद्यमान है। हम शीघ्र ही देखेंगे कि अनेक अवस्थाओं के अध्यारोपण का नवीन यान्त्रिकी के प्रायिकता मूलक निर्वचन[1] के ही द्वारा सार्थकता प्राप्त हो सकती है।

## ३ श्रोडिंगर की गवेषणा[2]

तरग-यान्त्रिकी के तरग-समीकरण को सबसे पहले १९२६ मे प्रकाशित लेखों में स्पष्ट रूप स लिखने का और उसके द्वारा क्वाटमीकरण की समस्याओं के अध्ययन की कठोरत यथार्थ विधि के आविष्कार का श्रेय अरविन श्रोडिंगर[3] को ही प्राप्त हुआ था। तरग-यान्त्रिकी मे कणिका की आनुषगिक तरग का समीकरण लिखने का प्रारम्भ हम इसी धारणा से कर सकते है कि नवीन सिद्धान्त की दृष्टि मे प्राचीन यान्त्रिकी भी ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के ही समान एक सन्निकटन मात्र है। याकाबी

1 Probability interpretation 2 The work of Schrodinger 3 Erwin Schrodinger

के सिद्धान्त में कणिका के गमन-पथ उस तरंग प्रचरण की किरणों के समान समझे जाते हैं जिसके तरंग-पृष्ठ याकोबी के समीकरण के नाम से प्रख्यात प्रथम कोटि[1] और द्वितीय घात[2] के आंशिक अवकल समीकरण[3] के द्वारा निर्णीत होते हैं। हम परिच्छेद २ खण्ड २ में पहले ही बता चुके हैं कि याकोबी के समीकरण का रूप ठीक वैसा ही है जैसा कि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के मूल समीकरण का और वस्तुतः यही कारण है कि याकोबी के सिद्धान्त में और तरंग प्रचरण के सिद्धान्त के ज्यामितीय सन्निकटन में इतना सादृश्य है। अतः तरंग-यांत्रिकी के तरंग-समीकरण का चयन ऐसा होना चाहिए कि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के अनुरूपी समीकरण का जिसकी संरचना के लिए आवश्यक प्रतिबन्धों को हम पहले ही निश्चित कर चुके हैं, याकोबी के समीकरण से तादात्म्य हो जाय। इस बात को पूरा करनेवाले तरंग-समीकरण के निर्माण के लिए श्रोडिंगर ने जिस मार्ग का अनुसरण किया वह निम्नलिखित है। पहले तो ऐसी पद-संहति[4] प्राप्त की जाती है जिसमें प्रस्तुत समस्या के निकाय की ऊर्जा का चिर प्रतिष्ठित यांत्रिकी की विधि से कणिका के निर्देशांकों और उसके संवेग के संघटकों के फलन के रूप में व्यक्त किया गया हो। फिर इस व्यंजक में (जिसे यांत्रिकी में हैमिल्टोनियन[5] कहते हैं) संवेग के प्रत्येक समकोणिक संघटक के स्थान में तत्संगत निर्देशांक-सापेक्ष-अवकलन संकेत[6] और प्लांक के नियतांक h के किसी अपवर्त्य के गुणनफल को प्रतिस्थापित कर दिया जाता है। इस प्रकार हैमिल्टोनियन एक प्रकार की प्रक्रिया[7] के संकेत में परिणत हो जाता है जिसे हैमिल्टनीय कारक[8] कहते हैं। इसके बाद निकाय के तरंग फलन[9] पर (जो सदैव ग्रीक अक्षर $\psi$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है) यह कारक आरोपित कर दिया जाता है और इस कारक की प्रक्रिया के परिणाम को तरंग फलन के काल-सापेक्ष अवकल और उपयुक्त नियतांक के गुणनफल के बराबर रखकर समीकरण बना लिया जाता है। इस प्रकार प्राप्त किये हुए समीकरण को हम कणिका का तरंग-समीकरण समझ सकते हैं क्योंकि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के सन्निकटन में यह ठीक उसी याकोबी-समीकरण में परिणत हो जाता है जो प्रस्तुत समस्या के लिए चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी के द्वारा प्राप्त होता है।

कणिका की आनुषंगिक तरंग के प्रचरण के लिए इस प्रकार प्राप्त समीकरण के

1 First order 2 Second degree 3 Partial differential equation
4 Expression 5 Hamiltonian 6 Symbol of differentiation 7 Operation
8 Hamiltonian operator 9 Wave function

सम्बन्ध में यहाँ कुछ कहा रहना आवश्यक है। पहली बात तो यह है कि इस समीकरण में तरंग फलन अदिष्ट[1] माना गया है—सदिश[2] नहीं। प्रकाश-तरंग में और गणित की इस आनयंगिक तरंग में यह एक महत्वपूर्ण भेद है। किन्तु यह विदित है कि प्रकाश के तरंग सिद्धान्त के प्रारम्भ में भी प्रकाश का अदिष्ट राशि ही माना गया था (प्रकाशीय चर[3]) और आज भी विवर्तन और व्यतिकरण की बहुत-सी घटनाओं की व्याख्या के लिए यही दृष्टिकोण ग्रहण किया जा सकता है। केवल ध्रुवण की व्याख्या के ही लिए तरंग फलन मे दिक्ता के गुण की आवश्यकता होती है। इसी प्रकार यह आशा की जा सकती है कि अदिष्ट तरंग फलन भी किसी दिन सिद्धान्त के और अधिक विकसित होने पर अनन्तर सघटकात्मक सदिश फलन में परिणत हो जायगा। आगे चलकर इस प्रागुक्ति का समर्थन डिरेक के चुम्बकीय इलेक्ट्रान[4] के सिद्धान्त के द्वारा प्रमाणित होगा किन्तु फिर भी हम देखेंगे कि इससे इलेक्ट्रान और फोटान के सिद्धान्तो में पूर्ण समानता स्थापित नहीं हो सकेगी।

तरंग प्रचरण के इस समीकरण के सम्बन्ध में दूसरी बात यह है कि यह सम्मिश्र[5] है अर्थात् उसके सभी गुणांक[6] वास्तविक संख्याएँ नहीं है और उसमें $\sqrt{-1}$ की कल्पित राशि[7] का समावेश है। पहले-पहल यह बात बड़ी विचित्र मालूम पड़ती है, किन्तु इससे प्रकट हो जाता है कि चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की तरंगों मे जिन भौतिक गुणों का अस्तित्व माना गया था वे ही गुण तरंग-यान्त्रिकी की $\psi$—तरंगों में भी मानने में कितनी बड़ी कठिनाई है। चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान में तरंगें जिन राशियों का प्रचरण करती है वे ऐसे माध्यम के कम्पनों से उत्पन्न होती हैं जिसका अस्तित्व या तो असंदिग्ध है या उसकी कल्पना कर ली गयी है (जैसे प्रकाश के चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त में ईथर की कल्पना की गयी है) और चूंकि वे तरंगें वास्तविक घटना का निदान करती है इसलिए यह आवश्यक है कि वे वास्तविक फलन के ही द्वारा व्यक्त हों। जैसा कि बहुधा प्रकाश-ध्वनात्मिक परिकलन में होता है। कभी कभी इन वास्तविक संख्याओं के स्थान में ऐसी सम्मिश्र संख्याओं का प्रतिस्थापन लाभदायक समझा जाता है जिनका वास्तविक भाग इन संख्याओं के बराबर होता है। किन्तु यह तो केवल परिकलन की युक्ति मात्र है जिसका इच्छानुसार सर्वदा ही परित्याग किया जा सकता है। किन्तु इसके विपरीत तरंग-यान्त्रिकी के तरंग-समीकरण में ही काल्पनिक गुणक

1 Scalar 2 Vector 3 Light—variable 4 Magnetic electron 5 Complex 6 Coefficients 7 Imaginary quantity 8 Real function

के अस्तित्व के कारण $\psi$–तरंग के फलन का काल्पनिक लक्षण अनिवार्य है और तरंग-यान्त्रिकी की तरंग में किसी माध्यम के कम्पनों के समान भौतिक वास्तविकता समझने के सब प्रयत्न विफल हो जाते हैं। नवीन यान्त्रिकी के विकास में अब यह राशि केवल ऐसी माध्यमिक[1] राशि समझी जाती है जिसका ज्ञान प्राप्त कर लेने पर हम कुछ अन्य राशियों का परिकलन कर सकते हैं। ये दूसरी राशियाँ ही वास्तविक होती हैं और इन्हीं का कुछ भौतिक अर्थ होता है जो अधिकतर सांख्यिकीय प्रकार का होता है। इस विषय का विवेचन आगे फिर किया जायगा, किन्तु इस समय इस बात पर जोर देना आवश्यक था कि तरंग-यान्त्रिकी में प्रचरण का समीकरण कैसे अपने रूप के कारण ही आनुषंगिक तरंग में भौतिकता की धारणा का परित्याग करने के लिए हमें बाध्य करता है।

अभी हमने समझाया है कि कणिका की आनुषंगिक $\psi$–तरंग के प्रचरण के समीकरण को व्यापक रूप से उपयोगी बनाने में श्रॉडिंगर को सफलता कैसे मिली थी। किन्तु इस खोज का प्रारम्भ उन्होंने न्यूटनीय यान्त्रिकी के सूत्रों से किया था। अतः यह तरंग-समीकरण आपेक्षिकता सिद्धान्त की शर्तों को पूरी नहीं करता। इसलिए यह समझना स्वाभाविक ही है कि यह समीकरण केवल बहुत कम वेगवाली कणिकाओं के लिए अर्थात ऐसी तरंगों के लिए ही सत्य हो सकता है जिनकी आवृत्ति बहुत अधिक न हो। अतः अब यह समस्या उपस्थित होती है कि ऐसा आपेक्षिकीय तरंग-समीकरण कैसे प्राप्त किया जाय जिसका सन्निकटित रूप नीची आवृत्तियों के लिए श्रॉडिंगर का समीकरण हो। अनेक वैज्ञानिकों ने प्रायः एक ही साथ इस प्रकार का एक समीकरण प्रस्तुत किया जिसका सूझना बहुत-कुछ स्वाभाविक ही था। किन्तु यह आपेक्षिकीय तरंग-समीकरण काल की अपेक्षा द्वितीय वर्ग[2] का था और इसके द्वारा कई कठिनाइयाँ उत्पन्न हो गयी। पहलेवाले तरंग प्रचरण के समीकरण का यथार्थ आपेक्षिकीय व्यापकीकरण तो डिरैक[3] ने दूसरी ही विधि से प्रस्तुत किया था।

श्रॉडिंगर ने आपेक्षिकता-हीन प्रचरण-समीकरण को ऐसे रूप में भी प्राप्त किया था जो कणिका निकाय के लिए अर्थात् अन्योन्य प्रभावक कणिकाओं के समूह के लिए उपयोगी है। किन्तु चूंकि इसमें जो नयी धारणाएँ निविष्ट हुई हैं उनके विस्तृत अध्ययन की आवश्यकता होगी इसलिए कणिका निकायों की तरंग-यान्त्रिकी के विवेचन को हम किसी आगे के परिच्छेद (परिच्छेद १२) के लिए स्थगित रखेंगे।

1 Intermediate 2 Second order 3 Dirac

सन्निरुटित सिद्धान्त के सक्तानुसार आनुषगिक तरगा के अग्रगामी रूपा स स्थ अवस्थाओं का आनुरूप्य स्वीकार कर लेने से और अपने समीकरण की सहायता से डिगर को क्वाटमित निकाय की स्थावर अवस्थाओं को निर्णीत करने की समस्य यथार्थतापूर्ण मीमासा करने में सफलता मिल गयी। हाइड्रोजन परमाणु क क्वाटमित निकाय को ही लीजिए। इस निकाय में हमे आनुषगिक तरग के प्रचरण समीकरण ज्ञात है और यह धारणा भी स्वाभाविक ही है कि आकाश के स्वरूप प्रद ही इस निकाय के अवस्थित होने के कारण ज्यों ज्यों निकाय के केन्द्र से दूरी ब जायगी त्यो-त्यो $\psi$ फलन का मान भी शून्य की ओर प्रवृत्त होता जायगा। और गणितीय भौतिक विज्ञान की साधारण परिपाटी के अनुसार हम यह मान ले कि य फलन सर्वत्र सतत[1] और एक मानीय[2] होना चाहिए। अग्रगामी तरगा के परिव के लिए प्रचरण-समीकरण के ऐसे एक-वचन हल प्राप्त करने होगे जो समस्त आका परिमित तथा एक मानीय हो और अनन्त (इनफिनिटी) पर जिनका मान शून जाय। श्राडिगर ने अनेक प्रकार के क्वाटमित निकायो के लिए वैश्लेषिक गणि नाल साधना के ही द्वारा इस समस्या को बडी तेजस्विता से हल कर लिया। और यह ज्ञात हुआ कि निविष्ट प्रतिबन्धो के अनुकूल एकवचन हल आवृत्ति के केवल विशिष्ट मानो के ही लिए प्राप्त हो सकते हैं। ये हल ही तरग के आशिक अव समीकरण के इष्ट मान[3] होते है। और उनमें सीमात प्रतिबन्ध[4] यह होना है कि अ पर $\psi$ का मान शून्य हो जाता है। तरग और कणिका के व्यापक सम्बन्ध के अ उसकी इष्ट-आवृत्तियो को h से गुणा करने से कणिका की क्वाटमित ऊर्जा प्राप्त हो जाता है। अन अतीत समस्याओं में श्रोडिगर के परिकलन के द्वारा क्वाट ऊर्जाओ के मान और फलत स्पक्ट्रमीय पद ज्ञात हो जाते हैं। इस प्रकार बहु स दशाओ में तो ठीक वही परिणाम निकलता है जो प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त द्वारा निक था। उदाहरण के लिए हाइड्रोजन परमाणु के सम्बन्ध में ठीक बोह्र के ही परिणाम प्राप्त हो जाते है। किन्तु कुछ अन्य महत्त्वपूर्ण दशाओ में ऐसे परिणाम निकल जो प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त के परिणामो से भिन्न होते है और इन नवीन परिणा प्रयोग-लब्ध इगितो से अधिक सागत्य पाया जाता है। इसका उत्कृष्ट उदा रैखिक दोलक[6] है। यह स्मरण होगा कि प्लाक को विकिरण सिद्धान्त में रैखिक द के जिस क्वाटमीकरण की आवश्यकता हुई थी उसी से क्वाटम सिद्धान्त के स

1 Continuous 2 Single valued 3 Proper values 4 Boundary co tion 5 Proper frequencies 6 Linear oscillator

विकास का प्रारम्भ हुआ था। इस क्वाटमीकरण की पुरानी विधि में यह मान लिया गया था कि रैखिक दोलक की क्वाटमित ऊर्जा के मान ऊजा के क्वाटम के पूर्णांश अपवत्य होते हैं। और वे रैखिक दोलक के यान्त्रिक दोलन की वास्तविक आवृत्ति को $h$ से गुणा करने से प्राप्त हो जाते हैं। किन्तु कुछ भौतिक घटनाएँ ऐसी भी हैं जिनमें रैखिक दोलक के क्वाटमीकरण की तो आवश्यकता होती हैं (यथा द्वि-परमाणुक अणु के सपट्ट स्पैक्ट्रम[1] में) किन्तु जिनमें ऐसा मालूम होता है कि दोलक की क्वाटमित ऊर्जा उसकी ऊर्जा के क्वाटम और किसी पूर्णांक के गुणनफल के बराबर नहीं होती वरन उस क्वाटम और किसी अर्ध-पूर्णांक[2] के अर्थात $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$ $\frac{2n+1}{2}$ श्रेणी की किसी संख्या के गुणनफल के बराबर होती है। प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त के विरुद्ध क्वाटमीकरण की नवीन विधि ने इसी अर्ध-पूर्णांकी[3] क्वाटमीकरण की प्रागुक्ति की थी। इस प्रकार श्रोडिंगर ने प्राचीन सिद्धात के यथार्थ परिणामों को भी प्राप्त कर लिया और असत्य परिणामों का शुद्ध भी कर लिया। उनकी सफलता में कुछ भी कमी नहीं रह गयी।

इसके बाद एक विचित्र संयोग ने श्रोडिंगर को प्रभावित किया और उन्हें एक रास्ता सुझाया जिससे वे एक अत्यन्त उपयोगी परिणाम पर पहुँच सके। हाइजनबर्ग की क्वाटम-यान्त्रिकी का विकास उस समय से कुछ पहले ही हो चुका था। यह नया विधि तरंग-यान्त्रिकी से सर्वथा भिन्न दिखाई देती थी, किन्तु इसके द्वारा भी परमाणवीय निकायों की क्वाटमित ऊर्जाओं के मान ठीक वही निकले जो श्रोडिंगर की विधि से निकले थे और प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त के परिणामों का इस विधि से भी उतना ही समर्थन या संशोधन हुआ। इससे श्रोडिंगर के मन में यह भावना उत्पन्न हुई कि दोनों विधियों की यह अभिन्नता आकस्मिक नहीं हो सकती और उनकी कुशाग्र बुद्धि ने यह भी प्रमाणित कर दिया कि क्वाटम-यान्त्रिकी देखने में सर्वथा भिन्न होने पर भी है केवल तरंग-यान्त्रिकी का गणितीय रूपान्तरण मात्र। इसका अधिक विवरण तो अगले परिच्छेद में दिया जायगा। यहाँ हम श्रोडिंगर की इस उत्कृष्ट कृति की ओर केवल पाठकों का ध्यान ही आकर्षित करना चाहते हैं।

ज़ीमान प्रभाव[4] और उसी के बहुत समकक्ष स्टार्क प्रभाव[5] का महत्त्व सुविदित है। श्रोडिंगर इन घटनाओं की समस्या की मीमांसा तरंग-यान्त्रिकी के द्वारा करना

1 Band spectrum 2 Half integer 3 Half integral 4 Zeeman effect 5 Stark effect

चाहते थे। इस कार्य के लिए उन्होंने संक्षोभण[1] की एक अच्छी विधि का विकास कर लिया। यह विधि खगोलीय यांत्रिकी[2] की चिरप्रतिष्ठित विधि का ही तरंगीय रूपान्तरण है। जो गुरुत्वीय या वैद्युत क्षेत्र हम कृत्रिम रीति से उत्पन्न कर सकते हैं वे वस्तुतः परमाणवीय नाभिक के आभ्यन्तर क्षेत्रों की अपेक्षा अत्यन्त ही दुर्बल होते हैं। इसलिए जीमान प्रभाव या स्टार्क प्रभाव को उत्पन्न करने के लिए परमाणु पर जो समांगी[3] चुम्बकीय या वैद्युत क्षेत्र लगाया जाता है उसे हम परमाणवीय नाभिक के भीतरवाले प्राकृतिक क्षेत्र का अत्यल्प संक्षोभण मात्र ही समझ सकते हैं। यदि इस बाह्य क्षेत्र की अनुपस्थिति में ऊर्जा के क्वाटमित मानों का परिकलन हम पहले ही कर चुके हों तो इन क्वाटमित मानों में संक्षोभक क्षेत्र के कारण जो थोड़ा सा परिवर्तन होता है केवल उसी के परिकलन की आवश्यकता पड़ेगी। श्रॉडिगर की संक्षोभण विधि में ही इस समस्या का हल प्राप्त हो गया और इसके द्वारा वे जीमान प्रभाव तथा स्टार्क प्रभाव की विस्तृत प्रागुक्ति प्रस्तुत करने में सफल हो गये। इन नवीन परिणामों से स्टार्क प्रभाव के सम्बन्ध में प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त के परिणामों का केवल समर्थन ही नहीं हुआ किन्तु कई बातों में ये नवीन परिणाम अधिक यथार्थ भी पाये गये। और जीमान प्रभाव में भी प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त से सुसंगत लारेन्ट्ज[4] की चिरप्रतिष्ठित प्रागुक्तियाँ ही पुनः प्राप्त हो गयी। यह बात सन्तोषजनक है क्योंकि वास्तव में इस प्रभाव में स्थूलतः ठीक वही घटनाएँ होती हैं जिनकी प्रागुक्ति लारेन्ट्ज ने की थी (सामान्य जीमान प्रभाव[5])। किन्तु लारेन्ट्ज की प्रागुक्ति से सुसंगत सामान्य जीमान प्रभाव के अतिरिक्त बहुत-सी दशाओं में अन्य अत्यन्त जटिल[6] तथा असंगताभासी[7] प्रभाव भी प्रेक्षित होते हैं। ये जटिल प्रभाव न तो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त के द्वारा और न प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त के ही द्वारा समझ में आ सकते थे। और इन्हें समझने में श्रॉडिगर को तरंग-यांत्रिकी के द्वारा भी सफलता नहीं मिली। जीमान प्रभाव की विचित्रताओं की व्याख्या करने के लिए उस सिद्धान्त में एक नवीन अवयव का निविष्ट करना पड़ा जिसे इलेक्ट्रान का नर्तन[8] कहते हैं। इसके विषय में हम किसी आगे के परिच्छेद में लिखेंगे।

और प्रकाश के उत्सर्जन और वर्ण विक्षेपण सम्बन्धी श्रॉडिगर के अनुसंधानों का अध्ययन भी अगले परिच्छेद के लिए स्थगित रखेंगे।

1 Perturbation 2 Celestial mechanics 3 Uniform 4 Lorentz
5 Normal Zeeman effect 6 Complex 7 Anomalous 8 Spin

## ४ इलैक्ट्रानो का विवर्तन[1]

हम अभी यह बता चुके है कि कणिकाओ और तरगो की आनुषगिकता में तथा तरगात्मक नवीन यान्त्रिकी के निर्माण की आवश्यकता के सम्बन्ध में दे ब्रॉग्ली के लेखक द्वारा प्रतिपादित विचारो ने श्राडिंगर के प्रशसनीय लेखो में कितनी असाधारण सम्पूर्णता और परिशुद्धता प्राप्त कर ली थी। किन्तु इन विचारो में तथा मूल विधियो में चाहे कितनी ही सुन्दरता क्यो न रही हो और वीय घटनाओ की सही प्रागुक्ति के द्वारा उनका सत्यापन कितना ही क्यो न हो गया हो फिर भी इन धारणाओ का प्रत्यक्ष प्रायोगिक सत्यापन नहीं हुआ था। १९२७ में डेविसन और गमर[2] द्वारा इलक्ट्रान विवतन की आविष्कार से यह कमी भी पूरी हो गयी।

कणिकाओ की गति में और तरग के प्रचरण में घनिष्ट सम्बन्ध होने के विचार उठना स्वाभाविक था कि शायद भौतिक कणिकाओ से (यथा इलक्ट्रानो) भी व्यतिकरण और विवलन की वैसी ही घटनाओ की उत्पत्ति सभव हो जैसी द्वारा फोटानो में देखी गयी है और जिनका अध्ययन भौतिक प्रकाश विज्ञान करता है। यह मालूम करने के लिए कि कौन-सी घटनाओ का प्रेक्षण वास्तव में सभव है, सबसे पहले आवश्यक यह जानना था कि जिन इलैक्ट्रानो का हम साधारणत प्रयोग कर सकते है उनकी आनुषगिक तरगो का तरग-दैर्घ्य कितना है। तरग-यांत्रिकी के सूत्रो से इस प्रश्न का तुरन्त ही यथार्थतापूर्ण उत्तर प्राप्त हो जाता है। साधारण स्थितियो में इलैक्ट्रान की आनुषगिक तरग का दैर्घ्य सदैव अत्यन्त छोटा होता है, एक्स किरणो के तरग-दैर्घ्य की कोटि का। अत उनके द्वारा हम केवल उन्ही घटनाओ का प्रेक्षण करने की आशा कर सकते हैं जो एक्स किरणो के द्वारा उत्पन्न की जा सकती हैं। यह विदित है कि एक्स किरण विज्ञान की मूल घटना क्रिस्टलो[3] के द्वारा एक्स किरणो का विवतन है। एक्स किरणो का तरग-दैर्घ्य अत्यन्त लघु होने के कारण यह लगभग असभव था कि मनुष्य द्वारा निर्मित किसी भी साधन से इन किरणो के विवतन का प्रेक्षण हो सके। सौभाग्यवश प्रकृति ने ही हमें ऐसी ग्रेटिंग[4] दे दी है जो विवतन के लिए बहुत उपयुक्त है। क्रिस्टल ही ऐसी ग्रेटिंग है। क्रिस्टलो में सब अणु और परमाणु इस प्रकार नियमित रूप से व्यवस्थित होते है कि उनसे विविमि

1 Diffraction of Electrons 2 Davisson and Germer 3 Cr
4 Grati...

ग्रेटिंग बन जाती हैं और यह भी हमें ज्ञात हैं कि पूरे क्रिस्टल में ये भौतिक कणिकाएँ इस प्रकार वितरित रहती हैं कि उनके बीच की दूरी सदा एक्स किरण के तरग दैघ्य की कोटि के परिमाण की ही होती है। अत किसी क्रिस्टल में होकर एक्स किरणो को चलाने मे ठीक वैसी ही विवतन घटना उत्पन्न होनी चाहिए जैसी कि प्रकाश के साथ त्रिविमितीय बिन्दु-ग्रेटिंग[1] के व्यवहार मे उत्पन्न होती हैं। यह सर्वविदित है कि क्रिस्टलो के द्वारा एक्स किरणो के विवतन की घटना का आविष्कार १९१२ मे लावे[2] फ्रीडरिच[3] और निपिंग[4] ने किया था और आजकल के एक्स किरण-स्पेक्ट्रम विज्ञान के विस्तृत विकास का आधार यही आविष्कार हैं। जो कुछ ऊपर लिखा जा चुका है उसके अनुसार हम यह आशा कर सकते है कि इलेक्ट्रानो के द्वारा भी ठीक वैसी ही घटना का प्रेक्षण हो सकेगा। किसी ज्ञात गतिज ऊर्जावाले इलेक्ट्रान की किरणावली के उपयोग से हमें ठीक वैसी ही विवतन घटना प्राप्त होनी चाहिए जैसी कि एक्स किरणो के द्वारा उत्पन्न होती है। ऐसे प्रयोगो मे जिन विविध क्रिस्टलो का व्यवहार होता हैं उनकी सरचना अनेक विधियो से ज्ञात हो ही चुकी है मुख्यत एक्स किरण स्पेक्ट्रम की सहायता से। अत इस प्रकार उपलब्ध विवतन-आकृतियो[5] के द्वारा उन इलैक्ट्रानो की आनुषगिक तरगो का तरग दैघ्य मालूम किया जा सकता हैं। फलत कणिका की गति और उसकी आनुषगिक तरग के तरग दैघ्य के बीच मे जो सम्बन्ध तरग-यान्त्रिकी द्वारा प्रतिपादित किया गया है उसका सत्यापन भी यथार्थतापूर्वक हो सकता है।

क्रिस्टलो के द्वारा इलेक्ट्रानो के विवतन के आविष्कार का श्रेय डेविसन और जर्मर[6] को है जो न्यूयार्क मे बेल-टेलीफोन[7] की प्रयोगशाला में काम करते थे। निकल के क्रिस्टल पर एक समान गतिज ऊर्जावाले इलेक्ट्रानो की बौछार करके उन्होने देखा कि उन इलैक्ट्रानो का बिल्कुल वैसा ही विवतन होता हैं जैसा कि किसी नियत तरग दैघ्यवाली तरगो का होना चाहिए और उन्होने यह भी प्रमाणित कर दिया कि यह तरग-दैघ्य ठीक उतना ही निकलता है जितना कि तरग यान्त्रिकी के सूत्रो द्वारा प्रागुक्त होता है। इस प्रकार इस सूक्ष्म घटना का अस्तित्व प्रमाणित हो गया। यदि कुछ वर्षों पहले कोई इस घटना का जिक्र करता तो अवश्य ही भौतिकज्ञो के मन मे केवल आश्चय और अविश्वास ही उत्पन्न होता।

लगभग उसी समय इगलण्ड में सर जे० जे० टामसन के सुपुत्र जी० पी० टामसन को

1 Point grating 2 Von Laue 3 Friedrich 4 Knipping 5 Diffraction pattern 6 Davisson and Germer 7 Bell Telephone

भी इलैक्ट्रान विवतन के प्रयोग में थोडी-सी भिन्न विधि से सफलता मिल गयी और इसके बाद तो शीघ्र ही सर्वत्र उसकी पुनरावृत्ति होने लगी। परिस्थितियों को तथा प्रायोगिक व्यवस्थाओं को बदल-बदल कर फ्रांस में पोंटे[1], जरमनी में रूपे[2], जापान में किकूची[3] और अन्य अनेक विद्वानों ने इस घटना का अध्ययन किया और शीघ्र ही उसकी समस्त सूक्ष्म बातें भी ज्ञात हो गयीं। प्रारम्भ में जो बातें समझ में नहीं आयी थीं शीघ्र ही उनका भी स्पष्टीकरण हो गया, मुख्यतः यह मालूम हो जाने पर कि इन तरंगों के लिए क्रिस्टल के आभ्यन्तरिक प्रदेश में वर्तनांक का मान १ से भिन्न होता है। और सीधी सी साधारण ग्रेटिंग पर लगभग स्पर्श रेखीय आपतन[4] के द्वारा भी इलैक्ट्रान विवर्तन सफलता-पूर्वक प्राप्त कर लिया गया (रूप[5] द्वारा) ठीक वैसे ही जैसे कि पहले एक्स किरणों का विवर्तन काम्पटन[6], थीबो[7] आदि ने प्राप्त किया था। इस प्रकार इलैक्टान के तरंग-दैर्घ्य की तुलना धातु पृष्ठ पर यांत्रिक उपाय से खींची हुई रेखाओं की दूरी से भी की जा सकती है।*

प्रारम्भ में तो इलैक्ट्रान विवर्तन की घटना का प्रेक्षण अत्यन्त कठिन जान पड़ता था और इसके प्रेक्षण में सफलता प्राप्त करने के लिए प्रयोगकर्ताओं में बड़े कौशल की आवश्यकता थी। किन्तु अब यह काम अपेक्षाकृत बहुत सरल हो गया है और प्रति दिन ही होता रहता है। इसको उत्पन्न करने के प्राविधिक अथवा तकनीकी[8] साधन भी इतने उत्कृष्ट हो गये हैं कि अब तो विद्यार्थियों को यह घटना व्याख्यान-कक्ष में भी दिखाई जा सकती है। इसके अतिरिक्त परिस्थितियों को इतनी विस्तृत परास[9] में बदल-बदल कर इन प्रयोगों में सफलता प्राप्त कर ली गयी है कि अब थोड़े से इलैक्ट्रान वोल्ट[10] से लेकर दस-लाख इलैक्ट्रान-वोल्ट तक के अत्यन्त विशाल ऊर्जा-अन्तराल[11] में सर्वत्र कणिका और तरंग के सम्बन्ध को व्यक्त करनेवाले सूत्रों की सत्यता का प्रतिपादन दक्षतापूर्वक किया जा सकता है। इन सूत्रों के सत्यापन में जब ऊर्जा के मान बहुत बड़े होते हैं तो स्वभावतः ही आपेक्षिकीय संशोधनवाले पदों का उन सूत्रों में

1 Ponte 2 Rupp 3 Kikuchi 4 Tangential incidence 5 Rupp
6 Compton 7 Thibaud

* नोट जो १९४९ में जोड़ा गया—१९४० में बोर्श (Bö sch) को बिना पर्दे के और द्वारा उत्पन्न इलैक्ट्रान विवर्तन व प्रेक्षण में भी सफलता मिल गयी। यह घटना उसी घटना के सदृश है जो प्रकाश के सम्बन्ध में फ्रेनेल के समय से ही ज्ञात थी।

8 Technical 9 Range 10 Electron volt 11 Energy interval

उपयाग करना जरूरी हाता है। अत इसमे आपेक्षिकीय धारणाओ का भी परोक्ष समर्थन हो जाता है।

जिन सूत्रो मे कणिकाओ की आनुषगिक तरगो का दैर्घ्य मालूम किया जाता है उनकी मान्यता इतनी अच्छी तरह प्रमाणित हो चुकी है कि आज इलेक्ट्रान विवर्तन की घटना का उपयोग इन सूत्रो के सत्यापन के लिए नही किया जाता किन्तु उन्हे सत्य मानकर क्रिस्टलिन या अज्ञात अन्यस्त[1] माध्यमो की सरचना का अध्ययन किया जाता है। किन्तु ये बातें बहुत कुछ प्राविधिक है और इस पुस्तक के क्षेत्र से बाहर की है। हम यहाँ केवल इतना ही कहना काफी समझते है कि इलेक्ट्रान विवर्तन के प्रयोगो से कणिका और तरग की आनुषगिकता की जिन धारणाओ से नवीन यान्त्रिकी का प्रारम्भ हुआ था उनका चमत्कारी रूप से प्रत्यक्ष समर्थन हो गया है।

इस खड को समाप्त करने से पहले यह भी बता देना उचित होगा कि इलेक्ट्रानो के अतिरिक्त अन्य भौतिक कणिकाओ के विवर्तन का भी प्रेक्षण हो चुका है। प्रोटानो और द्रव्य-परमाणुओ का भी विवर्तन इलेक्ट्रानो के ही समान होता है। इस विषय के प्रयोग अधिक कठिन होते हैं और अभी तक उनकी सख्या भी अधिक नही है। किन्तु यह निश्चित है कि यहा भी तरग-यान्त्रिकी के सूत्र सही निकले है। यह कोई आश्चर्य की बात नही है। ऐसा जान पडता है कि तरगो और कणिकाओ की आनुषगिकता प्रकृति का एक महत्त्वपूर्ण नियम है और क्रिया के क्वाटम के अस्तित्व और उसकी प्रकृति से यह द्वैत सम्बन्धित है। कोई कारण नही है कि उसे केवल इलेक्ट्रानो तक ही सीमित समझा जाय। अत यदि वह समस्त भौतिक सत्ताओ में प्रकट होता है तो इसमें आश्चर्य की क्या बात है।

## ५ तरग-यान्त्रिकी का भौतिकीय निर्वचन[2]

अब हमे यह जानने का प्रयत्न करना चाहिए कि किसी निकाय के तरग फलन[3] के ज्ञान का क्या उपयोग हो सकता है। प्राचीन यान्त्रिकी तो ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के समान सन्निकटन मात्र ही थी। अत हम सन्निकटन की सीमा के बाहर तरग यान्त्रिकी का और उसमे व्यवहृत समस्त धारणाओ और प्रक्रियाओ का हम परित्याग करना होगा। इसलिए हम स्थान क्रम और गमन-पथ की धारणाओ का उपयोग नहा कर सकते—कम से कम बिना सावधानी के तो हरगिज नही। हम इस विषय का

1 Oriented 2 Physical Interpretation of Wave mechanics 3 Wave function

विवेचना पुन करनी चाहिए और यह पता लगाना चाहिए कि हमारे तरंग-फलन सम्बन्धी धारणा के द्वारा गणितज्ञों ने सम्भावित प्रश्न घटनाओं के विषय में किस प्रकार की प्रागुक्तियाँ प्राप्त हो सकती है। इस सम्बन्ध में मूल-कल्पनाएँ ऐसी होना चाहिए जो यह आवश्यक बात पूरी करें कि जब कभी ψ-तरंग ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के नियम पालन करती हो तभी उनसे प्राचीन यांत्रिकी की धारणाएँ और परिणाम पुन प्राप्त हो जायें। हम देखेंगे कि नवीन यांत्रिकी का निवचन प्रायिकता पर अवलम्बित है किन्तु इस प्रायिकत्वीय निवचन की विशद विवेचना हम परिच्छेद १० में करेंगे। इस समय तो हम इस प्रश्न के सम्बन्ध में स्थूल दृष्टि से केवल इतना ही बतायेंगे कि तरंग-यांत्रिकी के समीकरणों का उपयोग करने के लिए भौतिकज्ञों को किन बातों को मूल कल्पनाओं के रूप में स्वीकार कर लेना पड़ा था।

सबसे पहली बात तो यह है कि हमारे पूर्व कथनानुसार ψ-फलन किसी भौतिक कम्पन को व्यक्त नहीं कर सकता क्योंकि वह सम्मिश्र[1] फलन है। किन्तु हम इस बात का प्रयत्न कर सकते हैं कि इस ψ-फलन से हम कुछ ऐसे वास्तविक व्यंजक प्राप्त करलें जिनका कोई भौतिक अर्थ भी हो। जो व्यंजक स्वभावत ही सबसे पहले हमारे ध्यान में आता है वह है सम्मिश्र राशि ψ-के मापांक[2] का वर्ग[3]। यह वर्ग तरंग फलन को उसकी सयुग्मी सम्मिश्र राशि[4] से गुणा करने से प्राप्त होता है। इस राशि का ψ-तरंग के आयाम[5] का वर्ग समझा जा सकता है। अर्थात तरंग सिद्धान्त के साधारण अर्थ में इसे तरंग की तीव्रता समझा जा सकता है। इस महत्त्वपूर्ण राशि का क्या मतलब है यह बात समझने के लिए हमें प्रकाश के सिद्धान्त की शरण लेनी पड़ेगी जिसने पहले भी अनेक बार हमारा पथ प्रदर्शन किया है और यह मालूम करना पड़ेगा कि फोटॉनों का अस्तित्व स्वीकार करने पर प्रकाश-तरंग की तीव्रता का क्या अर्थ होता है। प्रकाश विज्ञान में विवर्तन और व्यतिकरण के चिरप्रतिष्ठित प्रयोगों में से किसी एक पर विचार कीजिए। प्रत्येक बिन्दु पर प्रकाश-तरंग की तीव्रता का परिकलन करके और यह मानकर कि प्रकाश-ऊर्जा का आकाशीय वितरण तरंग की तीव्रता का अनुपाती होता है, तरंग सिद्धान्त दीप्त और अदीप्त[7] फ्रिंजों[9] के स्थान निर्णीत कर देता है और हम जानते हैं कि यह कार्य कितनी उत्कृष्ट यथार्थता से सम्पन्न होता है। व्यतिकरण के नियम की यह परिकल्पना जिसकी सत्यता प्रकाश के विविध प्रत्यास्थी अथवा विद्युत चुम्बकीय

1 Complex 2 Modulus 3 Square 4 Conjugate Complex quantity 5 Amplitude 6 Intensity 7 Bright 8 Dark 9 Fringes

सिद्धान्तों में उक्त वर्णितों से सिद्ध हो चुका है तरंग-यांत्रिकी में भी नए मूलकल्पना[1] बनती जा रही है।

अब इनमें फोटान की धारणा को निविष्ट कीजिए। तब प्रकाश की किरणों की फोटानों की प्रवाह समझ सकते हैं और इस दृष्टि से व्यतिकरण अथवा विवर्तन का प्रयोग का प्रश्न उठता है कि उनमें व्यवहृत उपकरण[2] के भीतर फोटानों का आकाशीय वितरण एक-समान नहीं रहता और व अधिक दीप्त स्थानों में इकट्ठे दीप्त स्थानों में एकत्र हो जाते हैं। और चूंकि इन प्रयोगों में तरंग सिद्धान्त की प्रागुक्तियाँ का सत्यापन यथार्थतापूर्वक हो जाता है इसलिए हमें यह मानना पड़ता है कि उस सिद्धान्त द्वारा परिकल्पित तरंग-तीव्रता प्रत्येक बिन्दु पर फोटानों के घनत्व की अनुपाती होती है। किन्तु परिच्छेद ५ खंड ८ में हम पहले ही उन विचित्र प्रयोगों की चर्चा कर चुके हैं जिनसे यह प्रकट होता है कि प्रकाश की अत्यन्त क्षीण किरणावली से भी व्यतिकरण संभव है। इन प्रयोगों में यदि व्यतिकरण के उपकरण में फोटान उत्तरोत्तर पहुँचे तब भी व्यतिकरण उत्पन्न हो जाता है। अतः दीर्घ-कालीन प्रदीपन[3] के बाद भी सामान्य व्यतिकरण चित्रों की उत्पत्ति की व्याख्या करने के लिए यह मानना आवश्यक हो जाता है कि प्रत्येक फोटान की आनुषंगिक तरंग की तीव्रता उस स्थान पर फोटान के पहुँचने की प्रायिकता को निर्दिष्ट करती है। इस प्रकार हमारा दृष्टिकोण सांख्यिकीय से यदृच्छ प्रायिकत्वीय हो जाता है और व्यतिकरण का नियम फोटान के आकाशीय अवस्थापन की प्रायिकता का नियम बन जाता है। किन्तु अब यदि हम द्रव्य के सिद्धान्त पर पुनः विचार करें तो हमें मालूम हो जाता है कि यहाँ भी ठीक इसी तरह के नियम को स्वीकार करना पड़ेगा क्योंकि क्रिस्टल में इलक्ट्रानों का विवर्तन बिल्कुल उसी तरह का होता है जैसा कि उनमें ही तरंग-दैर्घ्य के फोटानों का होता है। अतः यहाँ भी इलक्ट्रानों की आनुषंगिक तरंग की तीव्रता ही उनके आकाशीय अवस्थापन की प्रायिकता को निर्दिष्ट करती है। इस प्रकार हम निम्नलिखित नियम का प्रतिपादन कर सकते हैं।

$\psi$–फलन के मापांक का वर्ग प्रत्येक बिन्दु पर और प्रत्येक क्षण पर यह व्यक्त करता है कि उस बिन्दु और उस क्षण पर उस तरंग की आनुषंगिक कणिका के प्रेक्षण की प्रायिकता कितनी है। ऐसा नियम हमारी पूर्ववर्ती धारणाओं में कितना अधिक परिवर्तन कर देता है इस बात की ओर से हमें आँख नहीं मूंद लेनी चाहिए। सामान्यतः $\psi$–तरंग आकाश के किसी नियत क्षेत्र में ही व्याप्त रहती है अतः आनुषंगिक कणिका भी इसी

1 Postulate 2 Apparatus 3 Illumination

प्रदेश में किसी भी स्थान पर पायी जा सकती है। किसी भी क्षण पर उस कण का कोई निश्चित स्थान निर्णीत नहीं हो सकता, किन्तु यह बताया जा सकता है कि अमुक स्थान पर उसकी उपस्थिति की प्रायिकता कितनी है। और सुनिर्णीत स्थान के साथ-साथ वेग और गमन-पथ की धारणाएँ भी नष्ट हो जाती हैं—कम-से-कम अस्पष्ट तो हो ही जाती है। पुरानी यान्त्रिकी की निश्चितता का स्थान सर्वत्र ही प्रायिकता ले लेती है। इससे हमें घटनाओं के निरूपण की ओर प्रागुक्ति की वैज्ञानिक विधि में महत्त्वपूर्ण परिवर्तन होने का आभास मिलता है और इस परिवर्तन में महत्त्वपूर्ण दार्शनिक परिणाम भी निहित है।

इन प्रश्नों के अध्ययन को आगे के लिए स्थगित करके अब हम उस दूसरे नियम का उल्लेख करेंगे जिसे तरंग-यान्त्रिकी के भौतिक निर्वचन के लिए भौतिकज्ञों को स्वीकार करना पड़ा था। हमारा विश्वास है कि कणिकाओं की टक्करों[1] की समस्याओं के उत्कृष्ट तरंग-यान्त्रिकीय अध्ययन के प्रारम्भ में बोर्न[2] ने ही इस दूसरे नियम का प्रतिपादन सबसे पहले किया था। इस नियम को "स्पेक्ट्रमीय विघटन नियम"[3] नाम दिया जा सकता है। इस नवीन नियम का मर्म समझने के लिए बल-क्षेत्र के अभाव में गतिशील कणिका की सरल समस्या पर विचार कीजिए। यदि इस कणिका की आनुषंगिक तरंग एक-वर्ण समतल तरंग[4] हो तो हमें विदित है कि कणिका की ऊर्जा का मान सुनिर्णीत होता है और वह तरंग की आवृत्ति और h के गुणनफल के बराबर होता है। किन्तु तरंग सिद्धान्तीय दृष्टि से हम $\psi$—तरंग को एक-वर्ण मानने के लिए बाध्य नहीं हैं। इस तरंग का अनेक एक-वर्ण समतल तरंगों के अध्यारोपण द्वारा निर्मित तरंग संघ[5] मानना भी उतना ही युक्ति-संगत है। तरंग प्रचरण के रैखिक समीकरण की संतुष्टि में भी इससे कोई बाधा उपस्थित नहीं होती। किन्तु तब आनुषंगिक कणिका की ऊर्जा कितनी होगी? यह प्रश्न बड़ा विकट है क्योंकि इस $\psi$—तरंग में अनेक आवृत्तियों का समावेश है। इस कठिनाई को दूर करने के लिए बोर्न ने फिर प्रायिकता का सहारा लिया। उनके मतानुसार कणिका की ऊर्जा पूर्णतः निर्णीत नहीं होती।

तरंग की अनेक आवृत्तियों में से किसी भी एक आवृत्ति के अनुरूप उसकी ऊर्जा का मान हो सकता है। इसका अधिक यथार्थता पूर्ण अर्थ यह है कि यदि उस कणिका की ऊर्जा को नापा जाय तो उसका मान इन्हीं मानों में से किसी एक के बराबर निकलेगा, किन्तु हम पूर्वतः यह नहीं कह सकते कि वह कौन-सा होगा। किन्तु बोर्न द्वारा प्रति-

1 Collisions 2 Born 3 Principle of Spectral decomposition 4 Plane monochromatic wave 5 Wave group

पादित इस नवीन नियम के अनुसार हम पूर्ववत ही यह अवश्य कह सकते हैं कि ऊर्जा के विविध सम्भाव्य मानों के प्रेक्षण की प्रायिकताएँ कितनी कितनी हैं। कणिका की आनुषंगिक तरंग अनेक एक-वर्ण समतल तरंगों के अध्यारोपण के द्वारा निर्मित है ऐसा कहने का अर्थ यह है कि गणितीय दृष्टि से $\psi$–फलन वास्तव में अनेक एक-वर्ण तरंगों का निरूपण करनेवाले पदों का जोड़ होता है प्रत्येक पद के साथ एक एक गुणक लगा रहता है जिसे हम उस $\psi$–तरंग के स्पैक्ट्रमीय विघटन के उसी एक वर्ण संघटक का आंशिक आयाम कह सकते हैं और इस आयाम के मापांक का वर्ग तत्सगत आंशिक तीव्रता के बराबर होता है। अतः बॉर्न द्वारा प्रतिपादित नियम यह बताता है कि कणिका की ऊर्जा के नापने से उस $\psi$–तरंग के किसी एक वर्ण संघटक के अनुरूप मान प्राप्त करने की प्रायिकता उस तरंग के स्पैक्ट्रमीय विघटन से प्राप्त तत्सगत आंशिक तीव्रता के बराबर होती है। यह नियम बिलकुल वैसा ही है जैसा कि प्रकाश विज्ञान के अनुसार होना चाहिए।

यदि प्रकाश की कोई असरल तरंग किसी प्रिज्म या ग्रेटिंग पर पड़े तो उस उपकरण में से निकलने पर उस तरंग के विभिन्न एक-वर्ण संघटक पृथक हो जाते हैं। इसलिए स्पष्टतः हमें यह कहना चाहिए कि प्रारम्भ की अविच्छिन्न रश्मि का फोटान अन्त में अमुक विघटित रश्मि में जायगा इस बात की प्रायिकता उस आपतित तरंग के तत्सगत स्पैक्ट्रमीय एक-वर्ण संघटक की तीव्रता की अनुपाती होती है। इसके अतिरिक्त हमें इस प्रश्न पर अधिक व्यापक दृष्टिकोण से विचार करना चाहिए। स्पैक्ट्रमीय विघटन के नियम को क्वाटमित परमाणु निकायों पर लगाने से हमें उस कठिनाई की कुंजी मिल जाती है जिसकी चर्चा हम पहले कर चुके हैं। क्वाटमित परमाणु में क्वाटमित ऊर्जाओं वाली स्थावर अवस्थाओं के अनुरूपी आवृत्तियों की एक श्रेणी विद्यमान रहती है। किन्तु ऐसे निकाय में कम्पनशील तार के ही समान यह समझा जा सकता है कि कोई भी विशिष्ट अवस्था अनेक स्थावर अवस्थाओं के अध्यारोपण के द्वारा उत्पन्न होती है क्योंकि अनेक उपयुक्त कम्पनों के जोड़ को ही $\psi$–फलन मानकर भी तरंग प्रचरण के समीकरण का हल प्राप्त किया जा सकता है क्योंकि वह समीकरण रैखिक होता है। किन्तु इस $\psi$–फलन द्वारा निरूपित अवस्था में यह नहीं कहा जा सकता कि परमाणु अपनी किसी एक ही स्थावर अवस्था में है। किसी न किसी प्रकार वह एक ही क्षण पर एक ही साथ अनेक स्थावर अवस्थाओं में विद्यमान है। स्पष्ट है कि चिर प्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार यह बात किसी तरह भी समझ में नहीं आ सकती। किन्तु स्पैक्ट्रमीय विघटन के नियम से यह कठिनाई अनपेक्षित ढंग से दूर हो जाती है। अपनी $\psi$–तरंग

के स्पेक्ट्रमीय प्रकार में निरूपित ऊर्जा के अनेक क्वाटमित मानों में से परमाणु की ऊर्जा का केवल एक ही मान सम्भव हो सकता है और इसकी प्रायिकता तत्सगत स्पेक्ट्रमीय रामदर की तीव्रता की अनुपाती होती है। यहाँ भी इसका अर्थ यही है कि यदि किसी प्रयोग के द्वारा परमाणु की ऊर्जा का मान नापा जाय तो यह मान स्पेक्ट्रमीय विघटन में उपस्थित ऊर्जा के मानों में से ही किसी एक के बराबर होगा। जिस सर्वथा नवीन दिशा में भौतिक सिद्धान्त अब अग्रसर होने का है उसका एक और पूर्व-भवन हमें इस विवेचना के प्रायिकत्वीय लक्षण में मिल जाता है।

उपर्युक्त दोनों नियमों की तुलना करने पर हमें वे अनिश्चितता के अनुबन्ध[1] प्राप्त होते हैं जिनके साथ हाइजनबर्ग का नाम सलग्न है। किन्तु इस महत्वपूर्ण प्रश्न के अध्ययन के लिए अधिक उपयुक्त स्थान वह परिच्छेद होगा जिसमें हम नवीन यान्त्रिकी का प्रायिकत्वीय विवेचन करेंगे। अत यहाँ इस विषय में और अधिक लिखने की आवश्यकता नहीं है।

## ६ गैमो का सिद्धान्त[2]

तरग-यान्त्रिकी का गैमो ने जो अत्यन्त मनोरजक उपयोग किया है उसका अब हम कुछ वर्णन करना चाहते हैं। इस उपयोग का जो अन्वेषणात्मक[3] महत्त्व स्वोन्मर्जिता[4] के क्षेत्र में है उसके अतिरिक्त इसकी रोचकता का कारण यह है कि इसके द्वारा यह प्रकट हो जाता है कि प्राचीन यान्त्रिकी के स्थान में नवीन यान्त्रिकी का सहारा लेने पर कई समस्याओं का रूप किस प्रकार बदल जाता है।

उदाहरण के लिए एक ऐसी कणिका को लीजिए जिस पर ऐसा बल क्षेत्र लग रहा है जो उसकी गति का रोकता है और मान लीजिए कि यह बल-क्षेत्र स्थैतिक[5] है। यह सभव है कि किसी बिन्दु पर इस बल-क्षेत्र का मान शून्य हो जाय और वहाँ इसकी दिशा का परिवर्तन हो जाता हो। तब जिस विभव फलन[6] से यह व्युत्पन्न हुआ हो वह पहले बढ़ता-बढ़ता महत्तम मान प्राप्त कर लेता है और तब घटने लगता है। इस बात को आलकारिक भाषा में हम यो कह सकते हैं कि उस स्थान पर एक विभव-पर्वत[7] विद्यमान है। जो कणिका इस पर्वत पर आरोहण करना प्रारम्भ करती है वह क्या चोटी पर चढकर दूसरी ओर पहुँचने मे सफल हो जायगी ? इस प्रश्न का चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी ने निम्नलिखित उत्तर दिया था। हाँ यदि उस कणिका में काफी

1 Uncertainty relation 2 The Theory of Gamow 3 Heuristic
4 Radio activity 5 Static 6 Potential function 7 Mountain of potential

पर पहुँचने के लिए और दूसरी ओर उतरने के लिए पर्याप्त ऊर्जा न हो तो वह उस पवन को लाँघ सकता है। किन्तु यदि कणिका में [illegible] पर्याप्त ऊर्जा [illegible] नहीं है तो वह उस पवन को कभी [illegible] नहीं सकेगी क्योंकि [illegible] में [illegible] हो जाएगी। [illegible] ऊर्जा [illegible] है। [illegible] और [illegible] पर [illegible] जाएगी तथा अन्त में पुनः [illegible] और [illegible] जाएगी।

किन्तु तरंग-यांत्रिकी में यह घटना बिल्कुल दूसरा ही रूप धरती है। जैसा कि हम कणिका की आनुषंगिक तरंग को विचार में लाकर देखेंगे। यह प्रमाणित किया जा सकता है कि जब तक विभव का मान कणिका की [illegible] ऊर्जा से कम हो तब तक तो उस तरंग के लिए विभव-पवन केवल माध्यम के समान होता है। यदि विभव-पवन की चोटी में कणिका की ऊर्जा अधिक हो तो कणिका आसानी से दूसरी ओर जा पहुँचती है। यहाँ तक तो प्राचीन सिद्धान्त से कोई अन्तर नहीं है। किन्तु यदि कणिका की ऊर्जा पवन की चोटी से कम हो तो पवन का वह समस्त भाग जहाँ का विभव कणिका की ऊर्जा से अधिक है आनुषंगिक तरंग के लिए उग्र अवशोषक अथवा क्षयकारी माध्यम[3] का काम करता है। तरंग सिद्धान्त के अनुसार जब कोई तरंग [illegible] माध्यम पर आपतित होती है तो वह उस माध्यम में काफी दूर तक घुस तो जाती है किन्तु अत्यन्त अवमंदित[4] रूप में। यदि अवशोषक माध्यम की मोटाई काफी कम हो तो उस तरंग का कुछ अंश—साधारणत अत्यन्त अल्पांश—उस माध्यम को पार करके दूसरी ओर पहुँच सकता है। प्रकाश विज्ञान में यह तथ्य पूर्णत संस्थापित हो चुका है। यदि तरंग-यांत्रिकी में भी यही नियम लगाया जाय तो जिस कणिका की ऊर्जा विभव-पवत की चोटी पर पहुँचने के लिए आवश्यक ऊर्जा से बहुत कम हो वह भी उस विभव-पवत को लाँघ सकती है यदि पवत काफी पतला हो। अधिक यथार्थतापूर्वक यों कह सकते हैं कि विभव-पवत की चोटी पर पहुँचने के लिए अपर्याप्त ऊर्जावाली कणिका के लिए भी उस पवत के पार पहुँच जाने की कुछ-न-कुछ प्रायिकता विद्यमान रहती है। यह प्रायिकता नि सन्देह बहुत ही कम होती है किन्तु बिल्कुल शून्य नहीं होती। यह घटना आनुषंगिक तरंग के प्रायिकत्वीय निर्वचन का तथा व्यतिकरण नियम का परिणाम है। अत यह तरंग-यांत्रिकी की ही विशेषता है और बहुधा सुरंग प्रभाव[5] के चित्रमय नाम के द्वारा इसका वर्णन किया जाता है।

1 Available 2 Refracting medium 3 Extinguishing medium
4 Demped 5 Tunnel effect

अब मान लीजिए कि कोई कणिका ऐसे स्थान में अवस्थित है जो सभी दिशाओं में इतने ऊँचे विभव-पर्वतों से घिरा है कि वह ऊपर चढ़कर उन्हें लाँघ नहीं सकती। चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के अनुसार तो यह कणिका सदा के लिए इस विभव-उपत्यका[1] में बन्दी रहेगी। किन्तु इसके विपरीत तरंग-यान्त्रिकी के अनुसार इस कणिका के लिए भी उपत्यका में से बाहर निकल जाने की कुछ अत्यन्त थोड़ी-सी संभावना है। और एक मात्रक समय में इसके निकल भागने की जितनी प्रायिकता है उसका परिकलन नवीन यान्त्रिकी के सूत्रों के द्वारा हो सकती है।

और अब हम उपर्युक्त विचारधारा के उस उपयोग पर आते हैं जो गैमो ने और लगभग उसी समय कॉण्डन तथा गुरने[2] ने स्वोत्सर्जी पदार्थों के विघटन[3] की समस्या के सम्बन्ध में किया था। यह विदित है कि बहुत बड़ी संख्या ऐसे स्वोत्सर्जी तत्त्वों की है जो आल्फा किरणों का उत्सर्जन करके अन्य तत्त्वों में परिणत हो जाते हैं। यह कल्पना हो सकती है कि ये α–किरणें इन तत्त्वान्तरणशील[4] परमाणुओं के नाभिक में पहले से ही विद्यमान रहती हैं और विभव-पर्वतों से घिरी हुई उपत्यका में कैद रहती हैं। इन विभव-पर्वतों के बाह्य ढाल का रूप तो हमें मालूम है क्योंकि कूलम्ब का नियम नाभिक के समीपवर्ती प्रदेश में नाभिक के अत्यन्त निकट तक सत्यापित हो चुका है। किन्तु इस बात की प्रायिकता अधिकतम है कि अन्त में नाभिक के निकट किसी विशेष दूरी पर पहुँचने पर कूलम्ब का नियम यथार्थतापूर्ण नहीं रहता। अतः महत्तम मान को प्राप्त करके विभव पुनः घटने लगेगा। किन्तु विभव पर्वत के अन्दर की तरफ के ढाल का रूप सर्वथा अज्ञात है। परन्तु एक तथ्य ऐसा है जिसने भौतिकज्ञों को बहुत चकित कर दिया था। जो α–कणिकाएँ इन तत्त्वान्तरणशील नाभिकों में से निकलती हैं उनकी ऊर्जा इतनी कम होती है कि वह नाभिक के परिरक्षक विभव-पर्वत को पार करने के लिए पर्याप्त हो ही नहीं सकती। इस पर्वत के बाह्य ढाल का प्रेक्षण हम जितनी दूर तक कर सकते हैं वही वस्तुतः यह प्रकट करने के लिए काफी है कि पर्वत की चोटी कम-से-कम अमुक ऊँचाई से तो अधिक है ही। किन्तु नाभिक में से जो α–कणिकाएँ निकलती हैं उनमें इतनी ऊर्जा नहीं होती कि हम यह समझ सकें कि वे उस चोटी पर पहुँच सकी थीं। इस प्रकार चिर प्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार तो हमारे सामने दुर्लंघ्य बाधा उपस्थित हो जाती है। किन्तु सुरंग प्रभाव के द्वारा सब बातें स्पष्ट हो जाती हैं। यह ठीक है कि तत्त्वान्तरणशील पदार्थ के नाभिक में α–कणिका ऐसी उपत्यका में

1 Potential valley 2 Condon and Gurney 3 Disintegration 4 Transmutable

अवस्थित है जो विभव-पर्वतों से घिरी है और इन पर्वतों की चोटियाँ इतनी ऊँची हैं कि यह कणिका वहाँ नहीं चढ़ सकती। फिर भी इतने लम्बे समय में इस बात की कुछ-न-कुछ प्रायिकता रहती ही है कि यह इन ऊँचाइयों में से बाहर निकल भागे। स्पष्ट ही यह प्रायिकता इन रेडियोधर्मी पदार्थों के विघटनांक[1] के बराबर होती है। इसलिए यदि हमें नाभिक की कल्पना के अनुसार विभव पर्वतों के रूप का ठीक-ठीक ज्ञान हो तो तरंग-यांत्रिकी की विधि से हम रेडियोधर्मी पदार्थों के विघटनांक की गणना α-कणिकाओं के द्वारा कर सकते हैं। विभव पर्वत के रूप के सम्बन्ध में कुछ सत्याभासी परिकल्पनाएँ बनाकर गैमो ने सिद्ध कर दिया है कि सिद्धान्ततः ऐसे परिणाम प्राप्त हो जाते हैं जिनमें वास्तविकता से बहुत ही थोड़ा अन्तर होता है।

गैमो के सिद्धान्त की एक प्रमुख सफलता यह है कि उससे गाइगर-नटाल[2] नियम की व्याख्या हो जाती है। इस नियम के अनुसार दीर्घ अर्धायुवाले[3] तत्त्वों की अपेक्षा छोटी अर्धायुवाले तत्त्वों के लिए α-किरणों का उत्सर्जन-वेग[4] अधिक होता है। गणितीय भाषा में यह नियम विघटनांक के तथा तत्त्वान्तरण से उत्सर्जित α-कणिका की ऊर्जा के पारस्परिक सम्बन्ध के द्वारा व्यक्त किया जाता है और उससे यह प्रकट होता है कि α-कणिकाओं की ऊर्जा के किसी फलन के अनुसार विघटनांक बड़ी तीव्रता से परिवर्तित होता है। गैमो ने प्रमाणित कर दिया है कि उनका सिद्धान्त इस नियम का कारण अत्यन्त सूक्ष्मतापूर्वक बता देता है। इस सम्बन्ध का कारण समझना आसान है। स्पष्ट है कि उपर्युक्त में बन्दी कणिका की ऊर्जा पर्वत की चोटी पर पहुँचने के लिए आवश्यक ऊर्जा से जितनी ही कम होगी उतनी ही उसके बाहर निकल सकने की प्रायिकता भी कम होगी। और यह प्रायिकता बन्दी कणिका की ऊर्जा के साथ-साथ बड़ी तीव्रता से घटती है। चूँकि यह प्रायिकता विघटनांक के बराबर होती है और सुरंग प्रभाव के द्वारा बाहर निकलने के कारण कणिका में उतनी ही ऊर्जा विद्यमान रहती है जितनी कि निकलने से पहले थी अतः विघटनांक में और तत्त्वान्तरण (ट्रान्सम्यूटेशन) में उत्सर्जित α-कणिका की ऊर्जा में एक सम्बन्ध स्थापित किया जा सकता है। इस प्रकार निगमित नियम का रूप वही निकलता है जो प्रयोग द्वारा प्राप्त नियम का होता है। और नाभिकीय विभव पर्वत के ढाल के सम्बन्ध में कुछ सत्याभासी परिकल्पनाओं के द्वारा इन दोनों में सन्निकट एकता भी संभव हो जाती है।

1 Disintegration constant 2 Geiger Nuttall 3 Half life 4 Emission velocity

गमो का सिद्धान्त नि सन्देह बहुत ही अपूर्ण है क्योकि भारी स्वायत्तों तत्वो का नाभिक अवश्य ही कुछ अधिक जटिल होता है और उसे केवल α-कणिका-युक्त विभव उपत्यका का सरल रूप नही दिया जा सकता। फिर भी बहुत से तथ्यो के स्पष्टीकरण में गमो के सिद्धान्त को जो सफलता मिली है उससे तरंग-यांत्रिकी की नवीन धारणाओं का महत्त्व भी प्रकट होता है और प्रयोगलब्ध तथ्यो के द्वारा जो अनिवार्य कठिनाइयाँ उपस्थित होती है उनको दूर करने के लिए प्रायिकतामूलक विचारधारा की आवश्यकता भी स्पष्ट हो जाती है।

## नवाँ परिच्छेद

# हाइजनबर्ग की क्वाटम-यान्त्रिकी

### १ हाइजनबग के पथ-प्रदर्शक विचार[1]

हाइजनबग का क्वाटम-यान्त्रिकी सम्बन्धी प्रथम लेख १९२५ मे प्रकाशित हुआ था अर्थात तरग-यान्त्रिकी के मौलिक विचारो के और श्रोडिंगर के लेखो के प्रकाशित होने के बीच के समय में। किन्तु इन वनानिको के उद्देश्य से हाइजनबग का उद्देश्य सर्वथा भिन्न था। वास्तव में जिन विचारो से तरग-यान्त्रिकी का सर्व प्रथम जन्म हुआ था उनमे और जिन विचारो ने हाइजनबग का पथ प्रदर्शन किया था उनमे कोई भी प्रकट सम्बन्ध नही था और जिस वैधानिक पद्धति से क्वाटम-यान्त्रिकी का निर्माण किया गया था वह भी बहुत ही विशेष प्रकार की थी। सबसे पहले हम हाइजनबग के उन पथ प्रदर्शक विचारो का ही अध्ययन करेगे।

जैसा कि हम पहले बता चुके है हाइजनबग उस कोपनहगेन सम्प्रदाय[2] के वैज्ञानिक थे जो बोह्र के नेतृत्व में स्थापित और परिवर्धित हुआ था और उनके प्रथम प्रयासो का उद्देश्य आनुरूप्य विधि[3] का उपयोग ही था। इसलिए यह स्वाभाविक ही था कि इस विधि की अत्यन्त मौलिक और अत्यन्त गम्भीर भावना उनकी विचारधारा में व्याप्त हो जाय। और आनुरूप्य नियम के अध्ययन से जो सारभूत धारणाएँ उत्पन्न हुई थी उनमे से एक यह थी। चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त तो क्वाटमित निकाय मे सम्बन्धित राशियो को फूरियर श्रेणी के रूप मे व्यक्त करता है और इस श्रेणी का प्रत्येक पद विकिरण के सतत[4] और यौगपदिक[5] उत्सर्जन का द्योतक होता है किन्तु क्वाटम सिद्धान्त उन्ही राशियो को ऐसे अवयवो में विघटित कर देता है जो उस परमाणु के लिए सम्भाव्य

1 The Guiding Ideas of Heisenberg 2 Copenhagen School 3 Method of correspondence 4 Correspondence principle 5 Continuous 6 Simultaneous

विभिन्न क्वांटम-सक्रमणों से सम्बन्धित होते हैं और इनमें से प्रत्येक अवयव विकिरण के उत्सर्जन की एक असतत[1] और एकाकी[2] प्रक्रिया से सम्बन्धित होता है। यह पहले बताया जा चुका है कि बोह्र के विख्यात नियम का उद्देश्य इन दो असदृश निरूपणों में अनुरूपता-कम-से-कम अनन्त-स्पर्शी[3] अनुरूपता—स्थापित करना था। ऐसा जान पड़ता है कि जिस बात ने हाइज़नबर्ग को प्रभावित किया वह यह थी कि चिरप्रतिष्ठित दृष्टिकोण से हटकर क्वांटम दृष्टिकोण पर पहुँचने के लिए यह आवश्यक है कि समस्त भौतिक राशियों को विघटित करके उन्हें क्वांटमित परमाणु के विभिन्न संभाव्य सक्रमणों के अनुरूपी पृथक् पृथक् अवयवों का चूर्ण बना दिया जाय। इसी से किसी भी निकाय से सम्बन्धित प्रत्येक भौतिक राशि को विशेष प्रकार की अंक-सारणी[4] के द्वारा व्यक्त करने का विचार उत्पन्न हुआ जो प्रारम्भ में अत्यन्त क्षोभकारी प्रतीत होता था। यह अंक-सारणी उसी सारणी के समान थी जिसे गणितज्ञ मैट्रिक्स[5] कहते हैं। चिरप्रतिष्ठित निरूपण की फूरियर श्रेणी न जाने किस प्रकार चूर्णित होकर अनन्त असलग्न अवयवों में विभक्त हो जाती है और इन अवयवों का समुदाय तब भी उस राशि का निरूपण करता रहता है। निश्चय ही यह आवश्यक है कि इन अवयवों पर कुछ ऐसे नियमों का नियन्त्रण रहे जिनके कारण विभिन्न सक्रमणों के और चिर प्रतिष्ठित फूरियर श्रेणी के पदों के बीच में बोह्र द्वारा निर्दिष्ट विधि से अनुरूपता स्थापित करके बड़ी क्वांटम सख्याओं के लिए हम अनन्त-स्पर्शी एकता प्राप्त कर सकें।

राशियों को मैट्रिक्स-अवयवों के समुदाय द्वारा निरूपित करने की इस नवीन विधि को स्वीकार करने में हाइज़नबर्ग को एक और भी लाभ दिखाई दिया। इस निरूपण में उन सब अप्रेक्ष्य[6] राशियों से छुटकारा मिल जाता है जिनसे पूर्ववर्ती सभी क्वांटम सिद्धान्त आक्रान्त थे। दर्शनशास्त्रीय भाषा के दुरूह शब्दों में हम यों कह सकते हैं कि उन्होंने शुद्धत प्रेक्ष्य घटनामूलक[7] दृष्टिकोण को अपनाया और उन्हें यहाँ वाछनीय मालूम हुआ कि भौतिक सिद्धान्त में से वे सब बातें निकाल देना चाहिए जिनका प्रेक्षण संभव नहीं है। पारमाणविक सिद्धान्तों में परमाणु के आभ्यन्तरिक इलेक्ट्रॉनों के स्थान, वेग और कक्षाओं को निर्दिष्ट करने से क्या लाभ, जब कि इन अवयवों का प्रेक्षण अथवा माप संभव ही नहीं है। परमाणु के सम्बन्ध में जो कुछ हम जानते हैं वह केवल उसकी स्थावर अवस्थाएँ, स्थावर अवस्थागत सक्रमण, और इन सक्रमणों से सम्बन्धित

1 Discontinuous 2 Individual 3 Assymptotic 4 Table of numbers 5 Matrix 6 Unobservable 7 Phenomenological

विकिरण। अब हम अपने परिकल्पना मे भी व ही अवयव सम्मिलित करने चाहिए जो इन प्रेक्ष्य वास्तविकताओ से सबद्ध हो। हाइजनबग इसी कायक्रम को पूरा करना चाहते थे। उनकी मैट्रिक्सो में ये अवयव पक्तियो और स्तभो[1] में नियम्न होते है और प्रत्यक अवयव दो एसे सकेताको[3] द्वारा निर्दिष्ट होता है जिनसे पक्ति तथा स्तम्भ की क्रमिक सख्याए व्यक्त होती है। विकर्णी अवयव[4] (अर्थात वे अवयव जिनके सके ताक बराबर होते है) स्थावर अवस्थाओ के द्योतक होते है और अविकर्णी अवयव जिनके सकताक बराबर नही होते इन सकेताको द्वारा निर्णीत स्थावर अवस्थाओ के बीच में होनेवाले सक्रमणो को व्यक्त करते है। और इन अवयवो के मान आनुरूप्य नियम के सूत्रो के द्वारा उन राशियो से सम्बद्ध है जो उन सक्रमणो में उत्सर्जित विकिरणो को परिलक्षित करती है। इस प्रकार यह निरूपण एसा बन गया है जिसमे सब कुछ प्रेक्ष्य घटनाओ पर ही आधारित रहता है।

स्पष्टत यह विचारणीय है कि क्या सचमुच ही हाइजनबग समस्त अप्रेक्ष्य राशियो के निरसन[5] मे सफल हो गये। उनकी क्वाटम-यांत्रिकी की वधानिक प्रक्रियाओ में परमाणविक इलक्टानो के निर्देशाको और सवेगो का निरूपण करनेवाले मैट्रिक्सो के अस्तित्व से तो इस विषय में कुछ सदेह हो सकता है। किन्तु यद्यपि हाइजनबग के दृढ-सकल्पी प्रयास से भी उनका दार्शनिक कायक्रम पूणत सफल नही हो सका, फिर भी उससे एक अत्यन्त विचित्र प्रकार की नवीन यांत्रिकी का प्रादुर्भाव तो हो ही गया और अनेक आश्चयजनक परिणाम भी निकल आये। नवीन क्वाटम सिद्धान्तो के विकास मे यह अवश्य ही एक आवश्यक कदम था।

## २ क्वाटम-यांत्रिकी

गणितीय प्रक्रियाओ के उपयोग के बिना क्वाटम-यांत्रिकी की रूप रेखा को सरसरी तौर से भी प्रस्तुत करना अत्यन्त ही कठिन काम है क्योकि यह कहना अनुचित नही है कि इस नवीन यांत्रिकी का सार वास्तव में उसके प्रक्रिया-तत्र मे ही निविष्ट है। फिर भी हम स्थूल रूप से यह बताने का प्रयत्न करेगे कि यह क्वाटम-यांत्रिकी अथवा मैट्रिक्स यांत्रिकी[8] क्या है जिसको हाइजनबग ने जन्म दिया और जिसके विकास का श्रेय उनके साथ-साथ बोर्न[9] और जारडन[10] को भी है।

1 Rows 2 Columns 3 Indices 4 Diagonal elements 5 Non diagonal elements 6 Elimination 7 Quantum Mechanics 8 Matrix Mechanics 9 Born 10 Jordon

परमाणु सिद्धान्त में साधारणत प्रयुक्त भौतिक राशियों के स्थान में अनुसार णियों अथवा मैट्रिक्सों का उपयोग करने के विचार से हाइजनबर्ग ने इस यांत्रिकी का प्रारम्भ किया था। प्रत्येक मैट्रिक्स को एक अविभक्त गणितीय सत्ता समझकर आनुरूप्य विधि की सहायता से पहले उन्होंने इन विभिन्न मैट्रिक्सों को जोड़ने और गुणा करने के नियम स्थापित करने का प्रयत्न किया। तब उन्हें पता लगा कि ये जोड़ और गुणा के नियम बिल्कुल वैसे ही थे जैसे कि उन मैट्रिक्सों के होते हैं जिनका व्यवहार गणितज्ञ बीजीय समीकरणों[1] के अथवा रखिक प्रतिस्थापन[2] के सिद्धान्तों में पहले से करते रहे थे। यद्यपि यह परिणाम स्वत स्पष्ट नहीं है तथापि इससे समस्या बहुत कुछ सरल हो गयी क्योंकि बीजीय मैट्रिक्सों के गुण कम बहुत पहले से ही ज्ञात थे। इन मैट्रिक्सों में एक विचित्र गुण यह है कि इनका गुणा व्यत्ययशील[3] नहीं होता। गुणनफल गुणनखण्डों के क्रम पर भी अवलम्बित होता है। प्रथम मैट्रिक्स को द्वितीय मैट्रिक्स से गुणा करने पर गुणनफल उतना नहीं होता जितना कि द्वितीय को प्रथम से गुणा करने पर प्राप्त होता है। अतएव हाइज़नबर्ग ने भौतिक राशियों को ऐसी सख्याओं के द्वारा व्यक्त किया जिनके गुणन में व्यत्ययशीलता का गुण नहीं होता। यही तथ्य क्वाटम-यान्त्रिकी का मूल आधार समझा जा सकता है और डिरैक[4] की गवेषणा के प्रारम्भ में यही दृष्टिकोण अपनाया गया था। उन्होंने अपनी धारणा यह बनायी कि चिर प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान से क्वाटम भौतिक विज्ञान में सक्रमण अत्यन्त सरलतापूर्वक हो सकता है यदि भौतिक राशियों को साधारण सख्याओं के स्थान में ऐसी क्वाटम सख्याओं के द्वारा निरूपित किया जाय जिनका गुणन व्यत्ययशील नहीं होता। उस समय अनेक भौतिकज्ञों को यह परिवर्तन सरल नहीं प्रतीत हुआ। हाइज़नबर्ग के लिए यह भी आवश्यक था कि वे किसी ऐसी युक्ति का आविष्कार करें जिससे उनके सिद्धान्त में क्रिया का क्वाटम निविष्ट हो जाय। इसके लिए भी उन्होंने उसी उपाय का अवलम्बन किया जिससे कि पुराने क्वाटम सिद्धान्त के चिर प्रतिष्ठित समीकरणों में नियताक $h$ निविष्ट किया गया था। और उन्होंने आनुरूप्य विधि की सहायता से $h$ के इस निवेषण को अपनी नवीन यान्त्रिकी में सम्मिलित कर लिया। यह विधि अत्यन्त सुनिश्चित थी, किन्तु प्रारम्भ में बड़ी आश्चर्यजनक जान पड़ी। उन्हें यह परिकल्पना करनी पड़ी कि किसी निर्देशाक से सम्बद्ध मैट्रिक्स को जब उसके सयुग्मी सवेग[5] के सघटक

1 Algebraical equations 2 Linear substitution 3 Commutative
4 Dirac 5 Conjugate momentum

से सम्बद्ध मट्रिक्स से गुणा किया जाता है तो इन गुणनखंडों का क्रम अर्थहीन नहीं होता और इन गुणनखंडों के एक क्रम से प्राप्त गुणनफल में और विपरीत क्रम से प्राप्त गुणनफल में जो अन्तर होता है वह प्लांक के नियतांक h और किसी संख्यात्मक नियतांक के गुणनफल के बराबर होता है। क्वाटम-यान्त्रिकी के अन्य सब वैधानिक चर[1] व्यत्यय शील होते हैं अर्थात उनके गुणनफल गुणनखंडों के क्रम पर अवलम्बित नहीं होते। केवल जब दो ऐसी राशियों के गुणनफल का विचार किया जाता है जो वैश्लेषिक यान्त्रिकी के दृष्टिकोण से वैधानिकत सयुग्मित[2] हों तभी व्यत्ययशीलता की कमी प्रकट होती है और इस कमी का माप h के द्वारा होता है। स्थूल-स्तरीय घटनाओं में h उपेक्षणीय होता है। अत सब यान्त्रिकीय राशियाँ व्यत्ययशील समझी जा सकती हैं और हम पुन चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी पर लौट आते हैं। यही होना आवश्यक भी है। यद्यपि इस प्रकार व्यत्यय हीनतावाले समीकरणों के द्वारा प्लांक के नियतांक का निवेषण हाइज़नबर्ग के दृष्टिकोण में स्वाभाविक ही है तथापि यह कुछ विचित्र-सा मालूम पड़ता है। आगे चलकर हम यह बतायेंगे कि तरंग-यान्त्रिकी के द्वारा इस रहस्य का उद्घाटन कैसे होता है।

इस प्रकार भौतिक राशियों के निरूपण में प्रयुक्त मैट्रिक्सों के गुण धर्मों में यथार्थता स्थापित करने के बाद हाइज़नबर्ग के लिए इन मैट्रिक्सों के समयानुसारी परिवर्तन को व्यक्त करने वाले समीकरणों का निर्माण करने की आवश्यकता हुई। अर्थात उन्हें अब अपने गति विज्ञान का निर्माण करना था। इसके लिए उन्होंने साहसपूर्वक यह मान लिया कि ये मट्रिक्स जिन समीकरणों का पालन करते हैं उनका रूप भी ठीक चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के ही समीकरणों के समान होता है। इस परिकल्पना के अनुसार इन मट्रिक्सों के लिए भी हैमिल्टन के वैधानिक समीकरण[3] लिखे जा सकते हैं। किन्तु गति-वैधानिक समीकरणों की यह एकरूपता बहुत कुछ आभासी ही है—वास्तविक नहीं। इसका कारण यह है कि चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के समीकरणों में प्रयुक्त राशियाँ तो साधारण संख्याएँ ही होती है, किन्तु हाइज़नबर्ग की यान्त्रिकी में वे मट्रिक्सरूपी होती हैं। इस बात से दोनों में महत्त्वपूर्ण अन्तर उत्पन्न हो जाता है। जो भी हो, यह प्रमाणित किया जा सकता है कि क्वाटम-यान्त्रिकी के वैधानिक समीकरणों से ऊर्जा की अविनाशिता का नियम पुन प्राप्त हो जाता है और इन समीकरणों में जोर बाह्य के आवृत्ति

1 Canonical variables 2 Canonically Conjugate 3 Canonical equations

सम्बन्धी नियम में भी संगत है। इससे अतिरिक्त परमाणविक निकायों के लिए ये समीकरण ऊर्जा के कुछ विशिष्ट मानों के द्वारा ही सन्तुष्ट हो सकते हैं। इस बात के कारणों का विवेचन यहाँ नहीं किया जा सकता। इस प्रकार क्वाण्टमित ऊर्जायुक्त स्थावर अवस्थाओं का अस्तित्व पुन प्रमाणित हो जाता है और इन ऊर्जाओं के परिकलन की विधि भी हमें मालूम हो जाती है। अधिकतर चिरप्रतिष्ठित प्रकार के क्वाण्टमित निकायों के लिए इस विधि का उपयोग करके हाइज़नबर्ग और उनके शिष्यों ने रैखिक दोलक[1], हाइड्रोजन परमाणु आदि की क्वाण्टमित ऊर्जाओं का परिकलन किया। जो परिणाम निकले वे अधिकतर तो पुराने क्वाण्टम सिद्धान्त से सुसंगत ही थे, किन्तु कुछ बातों में सर्वथा भिन्न भी निकले। यथा, रैखिक दोलक के लिए प्लांक के पूर्णांकी क्वाण्टम नियम के स्थान में उन्हें अर्ध-क्वाण्टम नियम[2] प्राप्त हुआ। यह पहले बताया जा चुका है कि यही नियम वास्तविक तथ्य से अधिक संगत है।

क्वाण्टम-यान्त्रिकी के इन अत्यन्त चित्ताकर्षक परिणामों से और उसके गणितिक प्रक्रिया-तन्त्र की परिच्छिन्नता और दृढ नियमितता से उत्साहित होकर अनेक सैद्धान्तिकों ने हाइज़नबर्ग के ही मार्ग का अनुसरण किया और बहुत-सी नवीन और महत्त्वपूर्ण बातों से उनकी सहायता की। इसी समय श्रॉडिंगर ने भी अपने लेख प्रकाशित किए और उन्हें यह देखकर आश्चर्य हुआ कि तरंग-यान्त्रिकी की क्वाण्टमीकरण विधि से भी वही परिणाम प्राप्त हुए थे जो सर्वथा भिन्न धारणाओं पर आश्रित क्वाण्टम-यान्त्रिकी से प्राप्त होते है। उनके अन्तर्मन ने कहा कि यह बात दैवयोग से नहीं हो सकती और एक उत्कृष्ट लेख में उन्होंने इस रहस्य के स्पष्टीकरण में सफलता भी प्राप्त कर ली। अब हम उसी लेख का विश्लेषण करेंगे।

## ३ क्वाण्टम-यान्त्रिकी तथा तरंग यान्त्रिकी की एकात्मकता[3]

इस काम में जिस धारणा ने श्रॉडिंगर को प्रेरित किया वह यह थी कि तरंग यान्त्रिकी के तरंग फलनों के ही द्वारा ऐसी राशियों का निर्माण सम्भव हो जाना चाहिए जिनमें क्वाण्टम-यान्त्रिकी के मैट्रिक्सों के गुण विद्यमान हों। ऐसा हो जाने पर क्वाण्टम यान्त्रिकी उन राशियों के परिकलन का तथा उन पर गणितीय प्रक्रियाएँ करने का एक सविधान मात्र हो जायगी और तब तरंग फलन को स्पष्टत मध्यवर्ती बनाने की कोई

1 Linear oscillator 2 Law of half quanta 3 Identity of Quantum Mechanics and Wave Mechanics

आवश्यकता नहीं रहेगी। और इस प्रकार तीन यान्त्रिकी के दोनो रूपो की एकात्मकता प्रमाणित हो जायगी।

तरग-यान्त्रिकी मे जब किसी क्वाण्टमीकरण की समस्या उपस्थित होती है तब पहले तो विचाराधीन निकाय की विभिन्न अप्रगामी तरग निर्णीत की जाती है और तब उनके आनुषगिक तरग फलनो का परिकलन किया जाता है। ये फलन उस निकाय के 'इष्ट फलन [1]' कहलाते है। इन इष्ट फलनो का एक अनुक्रम[2] होता है जिसे हम यहा असतत ही मान लेगे क्योकि अनेक महत्त्वपूर्ण दशाओ में वह वास्तव में ऐसा ही होता है। अब इन फलनो मे से दो-दो को लेकर बनाये हुए समस्त युग्मोपर विचार कीजिए। ये युग्म दो प्रकार के बनेंगे। एक प्रकार के युग्म तो वे होगे जो किसी इष्ट फलन को उसी इष्ट फलन से युग्मित करने से प्राप्त होते है और दूसरे प्रकार के युग्म वे होगे जो किसी एक इष्ट फलन को किसी अन्य इष्ट फलन से युग्मित करने से प्राप्त होते है। पहले प्रकार का युग्म तो केवल एक ही स्थावर अवस्था से सलग्न[3] होगा। किन्तु दूसरे प्रकार का युग्म दो विभिन्न स्थावर अवस्थाओ से सलग्न होगा। अत उसे हम उन दो स्थावर अवस्थाओ के पारस्परिक सक्रमण से सलग्न समझ सकते है। इस प्रकार दो-दो इष्ट फलनो के युग्मन से हमे ऐसे अवयवो का एक अनुक्रम प्राप्त हो जायगा और इन अवयवो मे से एक एक अवयव को हाइजनबग मैट्रिक्स के एक एक अवयव से अनुरूप्य स्थापित किया जा सकता है। किन्तु हाइजनबर्ग के मतानुसार प्रत्येक राशि को व्यक्त करनेवाले मैट्रिक्स भिन्न भिन्न होते हैं। अत यह आवश्यक है कि प्रत्येक राशि के लिए इष्ट फलनो का युग्मन भी भिन्न भिन्न तरह से किया जाय।

यही एक सारगर्भित विचार उत्पन्न होता है जिसका महत्त्व अगले परिच्छेद में और भी अच्छी तरह प्रकट होगा। वह सारगर्भित विचार यह है कि प्रत्येक भौतिक राशि के लिए एक प्रक्रिया-सकेत[4] (कारक[5]) नियत करना आवश्यक है। हम पहले ही देख चुके है कि किसी कणिका की आनुषगिक तरग के प्रचरण-समीकरण को किसी स्वत प्रेरित प्रक्रिया द्वारा निर्माण करने के लिए श्रोडिंगर को इस उपाय का आश्रय लेना पडा था कि सवेग के सघटको के स्थान मे ऐसे कारको को प्रतिस्थापित कर दिया जो सयुग्मी निर्देशाक-सापक्ष व्युत्पन्नो के अनुपाती होते है और जिनके अनुपात गुणाक में नियताक h निविष्ट रहता है। यह मान लेना भी स्वाभाविक है कि प्रत्येक

1 Proper functions 2 Sequence 3 Attached 4 Symbol of operation 5 Operator

निर्देशांक के साथ "उस निर्देशांक से गुणन" की प्रक्रिया भी लगा हुई है। चूंकि किसी भी कणिका से सम्बन्धित समस्त यान्त्रिक राशियां उसके निर्देशांकों तथा उसके संवेग के संघटकों (लाग्राज के संयुग्मी संवेगों) के द्वारा व्यक्त हो सकती हैं इसलिए उपर्युक्त दोनों नियमों की सहायता से उस कणिका से सम्बद्ध किसी भी यान्त्रिक राशि का आनुषंगिक कारक हम मालूम कर सकते हैं। यदि ऊर्जा का आनुषंगिक कारक इस प्रकार निर्णीत किया जाय तो हमें वही हैमिल्टनीय कारक प्राप्त हो जाता है जिसकी सहायता से तरंग का प्रचरण-समीकरण स्थापित किया जाता था। इस आनुरूप्य का व्यापक रूप देकर हम इस परिणाम पर पहुंच जाते हैं कि समस्त भौतिक राशियों का एक-एक आनुषंगिक कारक होता है और यही नियम नवीन यान्त्रिकी का एक मूल आधार बन गया है।

अब हम यह समझ सकते हैं कि श्रोडिंगर ने वे मैट्रिक्स कैसे बनाये जिनका क्वाटम यान्त्रिकी के मैट्रिक्सों से तादात्म्य स्थापित करना उन्हें अभीष्ट था। मान लीजिए कि कणिका सम्बन्धी कोई राशि है और उसके आनुषंगिक कारक के निर्माण की विधि हमें मालूम है। तब विचाराधीन निकाय के इष्ट फलनों के प्रत्येक युग्म के साथ हम एक ऐसी राशि को अनुबद्ध कर सकते हैं जो निम्न प्रकार निर्मित होती है। उस युग्म के एक फलन पर उस कारक की क्रिया का जो फल होता है उसे दूसरे फलन के सम्मिश्र संयुग्मी मान[1] से गुणा किया जाता है और तब उसका संपूर्ण आकाश-व्यापी अनुकलन[2] किया जाता है। यही क्रिया समस्त इष्ट फलन-युग्मों पर की जाती है जिससे हमें अवयवों का ऐसा व्यूह प्राप्त हो जाता है जिसमें कुछ अवयव तो एक ही एक स्थावर अवस्था से संलग्न होते हैं और कुछ अवयव दो-दो स्थावर अवस्थाओं से अर्थात् एक एक संक्रमण से संलग्न होते हैं। इन अवयवों से एक मैट्रिक्स बना लिया जाता है जिसमें पहले प्रकार के अवयव विकर्ण[3] पर लिखे जाते हैं (विकर्णी अवयव)। इस प्रकार प्रत्येक यान्त्रिक राशि से एक एक मैट्रिक्स प्राप्त हो जाता है और अब प्रश्न यह रह जाता है कि क्या इस तरंग-यान्त्रिकी द्वारा प्राप्त मैट्रिक्सों का क्वाटम-यान्त्रिकी के मैट्रिक्सों से तादात्म्य स्थापित किया जा सकता है।

इस प्रश्न का उत्तर स्वीकृति सूचक है। सबसे पहले तो श्रोडिंगर ने यह प्रमाणित किया कि हाइजनबर्ग के मैट्रिक्सों की ही तरह उपर्युक्त विधि से प्राप्त मैट्रिक्स भी जोड़ और गुणन के उन्हीं नियमों का पालन करते हैं जिनका बीजीय मैट्रिक्स करते हैं। इसके अतिरिक्त जो प्लांक का नियतांक क्वाटम-यान्त्रिकी में एक विचित्र रीति

1 Complex Conjugate Value 2 Integration 3 Diagonal

ने निर्दिष्ट हुआ था उसका सारणीकरण श्रोडिंगर के धारणानुसार पूरा हो जाता है। बात यह है कि साधारणतः दो राशियों का गुणनफल व्यत्ययशील नहीं होता। उनका मान उनके क्रियान्वय के क्रम पर निर्भर होता है। फिर भी अधिकांश स्थानों में यांत्रिक राशियों के आपेक्षिक दोनों प्रकार व्यत्ययशील होते हैं। किन्तु इस नियम का एक अपवाद है। जब एक राशि का निर्देशांक हो और दूसरी राशि उससे संबद्ध का संवेग हो तब गुणनफल व्यत्ययशील नहीं होता। कारण यह है कि द्वितीय राशि का आनुषंगिक संकारक संयुक्त निर्देशांक-सापेक्ष अवकलन का अनुगामी होता है और यह आसानी से समझ में आ सकता है कि किसी चर के सापेक्ष अवकलन की क्रिया और उसी चर से गुणा करने की क्रिया का व्यत्यय नहीं हो सकता। इसी से हाइजनबर्ग प्रणीत व्यत्ययहीनता के नियम[1] प्राप्त हो जाते हैं। इसके बाद सारणीकरण के पूर्ण होने में इसके सिवाय और कुछ शेष नहीं रह जाता कि यह भी प्रमाणित कर दिया जाय कि तरंग फलनों द्वारा निर्मित मद्रिक्स भी क्वांटम-यांत्रिकी के वैधानिक समीकरणों को सन्तुष्ट करते हैं। यह काम निम्नलिखित रीति से संपन्न हो जाता है। जैसा कि श्रोडिंगर ने प्रमाणित कर दिया था ये वैधानिक समीकरण यथार्थतः यही बताते हैं कि जिन तरंग फलनों के द्वारा ये मद्रिक्स निर्मित होते हैं वे तरंग-यांत्रिकी के प्रचरण समीकरणों को सन्तुष्ट करते हैं। संक्षेप में, क्वांटम-यांत्रिकी के वैधानिक-समीकरण वास्तव में तरंग-यांत्रिकी के तरंग प्रचरण के समीकरणों के ही तुल्य रूपी हैं।

इस प्रकार नवीन यांत्रिकी के दोनों ही रूप परस्पर रूपान्तरणशील प्रमाणित हो जाते हैं। तब इस बात में क्या आश्चर्य है कि क्वांटमीकरण की समस्याओं के जो हल दोनों विधियों से निकलते हैं उनमें कुछ भी फर्क नहीं होता। क्वांटम-यांत्रिकी की विधि में तरंग फलनों की मध्यस्थता के बिना गणित की क्रिया सीधी मद्रिक्सों पर ही संपन्न होती है। इसलिए यह विधि अधिक संक्षिप्त होती है और बहुधा वांछित परिणाम इसके द्वारा अधिक शीघ्रता से प्राप्त हो जाते हैं। किन्तु भौतिकज्ञों के अंतर्मन से अधिक सुपरिचित और उनकी विचार शैली के अधिक अनुकूल होने के कारण तरंग-यांत्रिकी की विधि प्रारम्भ में अधिक स्वाभाविक और व्यवहार में अधिक सरल प्रतीत होती है। वस्तुतः अधिकतर भौतिकज्ञ तरंग विधि का ही उपयोग करते हैं और अपने परिकलन तरंग फलनों के स्पष्ट उपयोग के द्वारा ही करते हैं।

1 Non commutation rules

## ४ नवीन यान्त्रिकी मे आनुरूप्य-नियम

नवीन यान्त्रिकी के द्वारा आनुरूप्य नियम को अब अधिक परिच्छिन्न रूप प्राप्त हो गया है और पुराने क्वाटम सिद्धान्त में उसके विरुद्ध जा आलोचनाएँ हो सकती थी उनके लिए अब उतना अवसर नही है। हम देख चुके ह कि किस प्रकार बाह्न न किसी क्वाटम-सक्रमण की प्रारम्भिक और अतिम अवस्थाओ के चिर प्रतिष्ठित चित्र में प्रयुक्त वैद्युत घूण के फरियर-श्रेणीय प्रसार का उपयोग करके उस सक्रमण जनित विकिरण की तीव्रता तथा उसके ध्रुवण की प्रागुक्ति करने का प्रयत्न किया था। बडा क्वाटम-सख्याओ के क्षेत्र में तो यह विधि सतोषजनक और सशयहीन प्रमाणित हुई। किन्तु मध्यम अथवा छाटी क्वाटम सख्याओ का जो क्षेत्र वास्तव में महत्वपूर्ण है उसमें अनेक कठिनाइयाँ और द्विविधाएँ उपस्थित हो गयी। इसके विपरीत नवीन यान्त्रिकी में आनुरूप्य नियम के उपयोग की विधि तुरन्त ही पूणत सुनिश्चित हो गयी। वास्तव में वैद्युत घूण के प्रत्येक सघटक के लिए एक आनुषगिक मट्रिक्स होता ह और प्रत्येक सक्रमण से इस मट्रिक्स के केवल एक ही अवयव का सम्बन्ध हाता ह। किसी सक्रमण स सम्बद्ध मैट्रिक्स के अवयव को यदि उस सक्रमण के लिए वद्युत घूण के सघटक का आयाम मान लिया जाय तो चिरप्रतिष्ठित सूत्रा के ही अनुरूपी सूत्रा के द्वारा उस सक्रमण जनित विकिरण की पूणत परिच्छिन्न और असदिग्ध प्रागुक्ति हा सकता ह। यह सत्य है कि इस विधि में भी थाडा-सा परिकल्पित अश बाकी रह गया ह और वह है तीव्रता के परिकल्न में चिर प्रतिष्ठित रूपवाले सूत्रा के उपयाग की सभावना। किन्तु यही तो अनुरूपता की विधि का मूल आधार है। यदि इस परिकल्पना को स्वीकार कर लिया जाय तो फिर अनुरूपता के नियम के अनुप्रयोग में कुछ भी अनिश्चितता या यदृच्छता[1] नही रह जाती।

हाइजनबग ने अपने मैट्रिक्स-यान्त्रिकी के अध्ययन के द्वारा ही आनुरूप्य नियम का ऐसा परिष्कृत रूप दिया था और श्रोडिंगर ने उसी का रूपान्तरण तरग-यान्त्रिकी की भाषा में कर दिया। इस सुप्रसिद्ध भौतिकज्ञ ने तो विकिरण के परिकलन में मट्रिक्स के अवयवो के काय के स्पष्टीकरण के लिए एक मूत चित्र भी प्रस्तुत कर दिया ह। अब परमाणु में इलैक्ट्रान को प्रत्येक क्षण पर किसी एक बिन्दु पर अवस्थित नही समझना चाहिए। किसी विशेष बिन्दु पर उसके विद्यमान हान की कुछ प्रायिकता अवश्य हाती है और व्यतिकरण नियम के अनुसार यह प्रायिकता तरग-फलन के मापाक[2] के वग का

1 Arbitrariness 2 Modulus

अनुपाती होनी हैं। इसके कारण इलैक्ट्रान का हम परमाणु मे एक प्रकार से फैला हुआ समझ सकते हैं और औसत रूप स उसके वैद्युत आवेश का सतत वितरित समझ सकते ह। श्राडिगर के मतानुसार आनुरूप्य नियम का अनुप्रयाग (ऐप्लिकेशन) हम यह मानकर कर सकते हैं कि घटना इस प्रकार घटित हाती है माना विद्युत का यह समय-सापक्ष परिवर्तनशील औसत वितरण चिर प्रतिष्ठित नियमा के ही अनुसार विकिरण का उत्सर्जन करता ह। स्थूल दृष्टि स ता यह चित्रण बहुत सतापजनक मालूम पडता है क्योंकि इसके द्वारा बाह्र के आवत्ति नियम की पुनरुक्ति हा जाती ह, किन्तु यदि सूक्ष्म दष्टि से इसकी परीक्षा की जाय तो मालूम पडेगा कि इसके द्वारा भीषण कठिनाइया भी उत्पन्न हो जाती हैं। अत इसका परित्याग अनिवाय है। वास्तव में क्वाटम सक्रमण जनित उत्सर्जन की क्रिया मूलत इतनी असतत है कि विद्युत के किसी भी प्रकार के वितरण के द्वारा—यहा तक कि सवथा कल्पित वितरण के द्वारा भी—चिर प्रतिष्ठित नियमानुवर्ती उत्सर्जन के रूप मे उसका यथाथता पूर्ण चित्रण हो ही नही सकता। आनुरूप्य नियम सम्बन्धी जा विचार हम ऊपर प्रकट कर चुके हैं उनके अनुसार मैट्रिक्स के अवयवा का सही अथ समझने के लिए हमें यह कहना पडेगा कि मैट्रिक्स के अवयवा का काम यह है कि इनके द्वारा हम किसी एक स्थावर अवस्था का काई विशेष क्वाटम सक्रमण के एक मात्रक समय में सम्पन्न हाने की प्रायिकता का परिकलन कर सकते ह।

नवीन यान्त्रिकी के आनुरूप्य नियम के द्वारा हमें स्पक्टमीय रेखाआ की तीव्रताएँ और उनके ध्रुवणा का परिकलन करने की और विशेष कर वरण नियमा[1] क निगमन की क्षमता प्राप्त हो गयी ह। इसके द्वारा द्रव्य और विकिरण की पारस्परिक क्रिया सम्बन्धी अनेक समस्याआ का अध्ययन भी सभव हो गया है। यथा प्रकाश के परिक्षेपण[2] तथा वण विक्षेपण की समस्याएँ। जा क्रामस हाइज़नबग[3] का सूत्र पहले आनुरूप्य के विवचन के द्वारा सन्निकटन के रूप मे प्राप्त हुआ था उसे अब हम यथातथ रूप में प्राप्त कर सके ह।

द्रव्य और विकिरण की पारस्परिक क्रिया के अध्ययन में आनुरूप्य विधि के उपयोग से बडे सतापजनक परिणाम निकले हैं और यह निश्चित ह कि उसमे सत्य का अश बहुत बडी मात्रा में निविष्ट है। फिर भी यह सभव नही है कि इस बात की आर ध्यान न दिलाया जाय कि विद्युत चुम्बकीय सूत्रा के समुचित रूपान्तरा के नियमित

1 Selection principles 2 Scattering 3 Kramers Heisenberg

उपयोग के कारण यह विधि प्रकाश की कणिका-मय संरचना की सदैव उपेक्षा ही करती है। वास्तव में प्रकाश के परिक्षेपण (विकीणन) की समस्या का परमाणु और फोटान की टक्कर के रूप में ही समझना चाहिए और इस टक्कर का अध्ययन तरंगयांत्रिकीय विधि से ही होना चाहिए। इस दृष्टिकोण से इस समस्या के स्पष्टीकरण में सफलता प्राप्त करने के लिए विद्युत चुम्बकीय तरंग में फोटानों का निरूपण तथा (अधिक व्यापक रूप में) विद्युत्-चुम्बकीय क्षेत्र का क्वांटमीकरण आवश्यक है। इस दिशा में जो प्रयत्न किये गये हैं उनका वर्णन हमें आगे फिर करना पड़ेगा।

# दसवाँ परिच्छेद

## नवीन यान्त्रिकी का प्रायिकता-मूलक निर्वचन[1]

### १ सामान्य धारणाएँ और मूल सिद्धान्त[2]

हम देख चुके हैं कि प्रायिकता-मूलक विचारधारा ने तरंग-यान्त्रिकी के भौतिक रहस्य को समझने के प्रारम्भिक प्रयत्न में बड़ा काम किया था। उस समय ऐसा मालूम होता था कि अब एक व्यापक सिद्धान्त का आविष्कार हो रहा है जो नवीन यान्त्रिकी की समस्त प्रागुक्तियों में प्रायिकता के लक्षण आरोपित कर देगा। इस सिद्धान्त ने जिसका दृष्टिकोण बिल्कुल नया है और जिसने अनेक चिर प्रतिष्ठित धारणाओं का मूलोच्छेदन कर दिया है धीरे धीरे भौतिकज्ञों को अपनी ओर ध्यान देने के लिए विवश कर दिया। आज तो हम यह समझते हैं कि अब इसे सभी लोगों ने स्वीकार कर लिया है—ऐसे लोगों ने भी जो इसे अस्थायी तथा अन्तःकालीन मानते हैं और जिन्होंने अभी तक यह आशा नहीं छोड़ी है कि कभी-न-कभी पुनः चिर प्रतिष्ठित धारणाओं पर हम लौट सकेंगे। इस परिच्छेद में इसी विषय का विवेचन किया जायगा।

इस विवेचन का प्रारम्भ हम इस साधारण दिखाई देनेवाली धारणा से करेंगे कि किसी भौतिक राशि का बिल्कुल ठीक मान जानने के लिए उसको नापना आवश्यक है और उस नापने के लिए ऐसे उपकरण की आवश्यकता है जो किसी-न-किसी प्रकार उस राशि के मान को किसी निर्दिष्ट यथार्थता से नाप सके। चिर प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान में यह बात स्वतः मान्य समझी जाती थी कि समुचित पूर्वावधानों[3] के द्वारा यह सदैव सम्भव है कि नापने की क्रिया इस प्रकार सम्पन्न की जाय कि नापने से पूर्ववर्ती अवस्था में कोई प्रेक्षणगम्य विकार पैदा न हो। ऐसी

1 The Probability Interpretation of the New Mechanics [illegible]
Ideas and Fundamental Principles 3 Precaution

दशा में नाप केवल वर्तमान अवस्था का ज्ञान प्राप्त करने का ही काम करता। नाप के कारण उस अवस्था में किसी नवीनता का समावेश नहीं होगा। यह नियम चिर प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान में निर्विवादतः मान लिया गया था और स्थूल स्तरीय क्षेत्र में यह बिलकुल सत्य भी है। इस क्षेत्र में कुशल प्रयोगकर्ता प्रेक्षण गम्य विकार उत्पन्न करने के बिना ही घटनाओं का पारिमाणिक अध्ययन संभव कर सकता है। इसका कारण यह है कि नापने की क्रिया से जो विकार उत्पन्न होते हैं उन्हें इतना घटाया जा सकता है कि माप्य राशियों की अपेक्षा उन विकारों को उपेक्षणीय समझ सकते हैं। इसके विपरीत सूक्ष्म स्तरीय क्षेत्र में क्रिया के क्वान्टम के अस्तित्व का यह परिणाम होता है कि नापने की क्रिया से उत्पन्न विकार अनन्तत नहीं घटाये जा सकते। अतः जिस घटना का अध्ययन किया जाता है वह नापने की प्रत्येक क्रिया से वस्तुतः विकृत हो जाती है। इन विचारों का सूक्ष्म विवेचन हम थोड़ी देर बाद करेंगे जब हम उन उदाहरणों का अध्ययन करेंगे जो अनिश्चितता के अनुबन्धों[1] के समर्थन में मुख्यतः बोह्र और हाइजनबर्ग के द्वारा प्रस्तुत किये गये हैं। इस समय इतना ही कह देना पर्याप्त होगा कि यह बात किसी भी तरह प्रत्यक्षतः मान्य नहीं है कि नापने की क्रिया से हमें पूर्ववर्ती अवस्था का शुद्ध और निर्विकार ज्ञान प्राप्त हो सकता है। अधिकतर तो ऐसी ही संभावना है कि नापने की क्रिया पूर्ववर्ती अवस्था में निहित किसी संभाव्यता को प्रकट करके एक नवीन अवस्था का निर्माण कर देती है। और अब हम सूक्ष्मतापूर्वक यह बताने का प्रयत्न करेंगे कि इस नवीन दृष्टिकोण के अनुसार नापने की क्रिया वास्तव में क्या करती है।

इस उद्देश्य की पूर्ति के लिए भौतिक प्रकाश विज्ञान सम्बन्धी कुछ पुराने प्रयोगों के विषय में थोड़ा विचार कर लेना लाभकारी होगा और यहां भी यदि हम फोटानों और प्रकाश-तरंगों के द्वैत से प्रारम्भ करें तो रहस्य का उद्घाटन कर सकने की संभावना अधिक है। इसलिए प्रिज्म या ग्रेटिंग द्वारा किसी मिश्र प्रकाश रश्मि के स्पेक्ट्रमीय विश्लेषण के अत्यन्त साधारण प्रयोग पर ही विचार कीजिए। न्यूटन के समय से ही हमें ज्ञात है कि इसमें जिस उपकरण का व्यवहार किया जाता है उसका काम है आपतित प्रकाश के विभिन्न एक-वर्ण संघटकों का पृथक्-करण। १९वीं शताब्दी में इस समस्या पर बहुत विवाद हुआ था कि क्या प्रिज्म द्वारा पृथक्कृत एक-वर्ण संघटक आपतित प्रकाश में पहले से ही विद्यमान रहते हैं या उनको प्रिज्म

1 Uncertainty relations

के प्रभाव से नया निमाण होता है। इस प्रश्न का कोई भी बहुत सतोपजनक उत्तर प्राप्त नही हो सका था, किन्तु अन्त में अधिक विवेकपूण यही माना गया कि आपतित प्रकाश में समस्त एक वण सघटक आभासी रूप से प्रच्छन्न अवस्था मे किसी-न किसी प्रकार विद्यमान रहते ह। हम शीघ्र ही दखेंगे कि इस मत का समथन उन क्वाटम मूलक विश्लेषणा के द्वारा हो जाता है जिनका वणन हम आगे करेंगे। वास्तव मे हम प्रिज्मघटित वण विक्षेपण की व्याख्या में फोटाना की धारणा निविष्ट करने का प्रयत्न करगे। इस दृष्टिकाण स हम यो कहगे कि प्रिज्म की क्रिया के कारण आपतित फाटान पथक-पृथक सु निर्णीत वण-समुदायो म विभाजित हो जात ह। अथात प्रिज्म आपतित रश्मि मे स लाल, पील और नील फोटानो को छाटकर अलग-अलग कर देता है। हम यह भी करपना कर सकत ह कि इस प्रयाग मे आपतित प्रकाश रश्मि इतनी दुबल है कि प्रिज्म पर एक एक फाटान उत्तरोत्तर पहुँचता है। किन्तु प्रत्येक फोटान का सम्बन्ध उस आपतित प्रकाश-तरग से है जो हमारी परिकल्पना के अनुसार एक वण नही ह। अत आपतित फाटान की कोई सुनिर्णीत आवृत्ति नही मानी जा सकती। और आइन्स्टाइनीय समीकरण द्वारा सुनिर्णीत ऊर्जा भी उसमें नही हो सकती। किसी-न किसी प्रकार उस आपतित फाटान में वे सब सभव आवृत्तिया युगपत विद्यमान ह जो उसकी आनुषगिक प्रकाश-तरग के स्पैक्ट्रमीय विश्लेषण में प्रकट हो जाती हैं। किन्तु प्रिज्म मे से बाहर निकलने पर वही आपतित फोटान प्रिज्म द्वारा विक्षेपित विभिन्न एक-वण रश्मियो मे स किसी एक मे अवश्य ही विद्यमान होना चाहिए। अत अब उसकी आवत्ति अवश्य ही सुनिर्णीत होगी। इसलिए हम प्रिज्म का ऐसा यत्र समझ सकत ह जिसके द्वारा फोटान की आवत्ति (या ऊर्जा) नापी जा सकती है। इस उपकरण का काम इतना ही ह कि पूववर्ती अवस्था में जितनी सभावनाएँ निहित है उनमे से यह किसी एक को छाटकर निकाल देता ह। अत हमें तो इस बात को जानने का प्रयत्न करना चाहिए कि प्रिज्म की क्रिया फाटान को किसी पूव निश्चित रग का ग्रहण करने के लिए विवश कर देगी इसकी प्रायिकता कितनी है। तरग सिद्धात के द्वारा इस प्रश्न का पारिमाणिक उत्तर तुरन्त ही मिल गया। आपतित तरग का निरूपण एक फरियर प्रसार के द्वारा किया जा सकता ह जिसमे प्रत्येक एक-वण सघटक का एक सुनिश्चित आयाम होगा। प्रिज्म की क्रिया इन एक-वण सघटको का पथक ता कर देगी, किन्तु उनके आयाम ज्यो के त्यो बने रहेंगे तथा प्रिज्म में स निगत होने पर विभिन्न निगत रश्मियो में आपतित प्रकाश ऊर्जा का वितरण इन आयामो के वर्गों के अनुपात म

अर्थात् विभिन्न फूरियर सघटको की तीव्रता के अनुपात में होगा। अतएव हमें यह कहना चाहिए कि प्रिज्म में से निर्गत होने पर फोटान की कोई निश्चित आवृत्ति होने की प्रायिकता आपतित प्रकाश-तरग के फूरियर प्रसार में उसी आवृत्ति का आशिक तरग की तीव्रता की अनुपाती होगी।

उपर्युक्त विचारधारा का यदि तरग-यान्त्रिकी की भाषा में रूपातरण कर दिया जाय और यदि उसे अधिक व्यापक बना दिया जाय तो हम उस व्यापक प्रायिकता सिद्धात के उद्गम को भी समझ सकेंगे जिसके विकास का वर्णन अब हम करेंगे।

हम ऊपर किसी अनुच्छेद में देख चुके हैं कि नवीन यान्त्रिकी में प्रत्येक यान्त्रिक राशि के आनुषगिक एक-एक कारक का निर्माण किया जाता है और यह कारक सभी दशाओ में बन सकता है। ये सब कारक रैखिक हर्मिटीय[1] कारको की जाति के होते है। इष्ट-माना के जिस गणितीय सिद्धात का उल्लेख पहले किया जा चुका है उसके द्वारा इष्ट-माना और इष्ट फल्ना की तथा इन कारको की आनुषगिकता स्थापित की जा सकती है। और कारको के हर्मिटीय होने के कारण इष्ट मान वास्तविक नियताक[2] होते है जिनसे सतत, असतत अथवा मिश्र अनुक्रम बन जाता है और इन्ही से उस कारक के "स्पैक्ट्रम" की सृष्टि होती है। इन इष्ट फलना के द्वारा लम्ब-कोणिक फल्ना[3] का एक पूरा सघ बन जाता है अर्थात किसी भी सतत फल्न का प्रसार इन इष्ट-फलनो की श्रेणी के रूप में किया जा सकता है। श्रोडिंगर की क्वाटमीकरण विधि में हैंमिल्टनीय कारक के इष्ट-माना और इष्ट फल्ना के सम्बन्ध में पहले भी इष्ट मानो और इष्ट-फल्ना के इन गुणा का परिचय हमें मिल चुका है। जैसा हम देख चुके है इस विधि मे यह मान लिया जाता है कि किसी भी क्वाटमित निकाय की ऊर्जा के सम्भव मान केवल उसकी ऊर्जा के आनुषगिक हैंमिल्टनीय कारक के इष्ट मान ही हो सकते हैं। इसी धारणा का व्यापकीकरण करने से तरग-यान्त्रिकी के व्यापक प्रायिकता सिद्धान्त में से यह मूल अधिमान्य नियम[4] प्राप्त होता है जिसे हम "क्वाटमीकरण का नियम"[5] कह सकते है। 'यथार्थ नाप से किसी यान्त्रिक राशि का जो मान प्राप्त हो सकता है वह केवल उस राशि के आनुषगिक कारक के इष्ट माना में से ही कोई एक होता है।'

1 Hermitian 2 Real Constants 3 Orthogonal functions 4 Postulate 5 Principle of quantisation

प्रथम देता में यह अधिमान्य नियम किसी भी यान्त्रिक राशि के मान को निश्चित कर देता है। किन्तु यह भी स्पष्ट है कि इस नियम को सम्पूरक एक अधिमान्य नियम और होना चाहिए जिसके द्वारा हम यह जान सकें कि यदि किसी कणिका की नापने से पूर्ववर्ती अवस्था ज्ञात हो तो उसकी विभिन्न परवर्ती सम्भव अवस्थाओं की प्रायिकता कितनी कितनी है अर्थात् नापन के विभिन्न परिणामों की प्रायिकता कितनी कितनी है। किन्तु कणिका की नापन से पूर्ववर्ती जो अवस्था ज्ञात समझी जाती है वह तरंग-यान्त्रिकी में किसी $\psi$—तरंग के द्वारा निरूपित होती है। मापक यंत्र पर यही $\psi$—तरंग आकर पड़ती है। क्रियम द्वारा स्पेक्ट्रमीय विश्लेषण से तुलना करने से ही वाञ्छित द्वितीय अधिमान्य नियम प्रकट हो जाता है। वस्तुतः जिस भौतिक राशि को नापना हो उसी के आनुषंगिक इष्ट फलनों की श्रेणी के रूप में वह तरंग विश्लिष्ट हो सकती है। तब बिल्कुल स्वाभाविक रूप से ही हम यह सोचने के लिए बाध्य हो जाते हैं कि इस स्पेक्ट्रमीय विश्लेषण के संघटकों के आयामों के वर्गों के ही द्वारा विभिन्न सम्भव मानों की आपेक्षिक प्रायिकताओं का नाप हो जायगा। अतः अब हम द्वितीय मूल अधिमान्य नियम को जिसका नाम "स्पैक्ट्रमीय विश्लेषण का व्यापकीकृत नियम"[1] रखा जा सकता है यों लिख सकते हैं—

किसी कणिका से संलग्न जिस यान्त्रिक राशि की $\psi$—तरंग ज्ञात हो उस राशि के विभिन्न सम्भव मानों की प्रायिकताएँ उस राशि के इष्ट-मानों में उस $\psi$—तरंग का स्पैक्ट्रमीय विश्लेषण करने से प्राप्त संघटनों के तत्संगत आयामों (अधिक यथार्थता पूर्वक मापांकों) के वर्गों की अनुपाती होती है।

यह भी स्पष्टतम है कि इसी द्वितीय नियम का एक विशिष्ट रूप बार्न[2] का वह स्पेक्ट्रमीय विश्लेषण नियम है जिसका वर्णन पहले किया जा चुका है और जिसका उपयोग 'ऊर्जा' राशि के लिए किया जाता है। किन्तु यह बात बहुत कम स्पष्ट है कि जिस नियम को हमने व्यतिकरण नियम का नाम दिया था वह भी इसी का एक विशिष्ट रूप है। तथापि एक तर्क के द्वारा जिसे यहाँ उद्धृत नहीं किया जा सकता यह प्रमाणित हो जाता है कि कणिका के निर्देशांक कहलाने वाली राशियों पर स्पैक्ट्रमीय विश्लेषण के व्यापक नियम का उपयोग करने से व्यतिकरण नियम भी प्राप्त हो जाता है। इस प्रकार आठवें परिच्छेद में तरंग यान्त्रिकी के भौतिकीय मर्म को स्पष्ट करने के लिए जिन दो नियमों को प्रस्तुत

1 Generalised principle of spectral resolution 2 Born

किया गया था वे दोनों इस व्यापक सिद्धान्त के द्वितीय मूल अधिमान्य नियम के ही विशिष्ट रूप प्रमाणित हो जाते हैं। अत इस अनुच्छेद में जिन दो मूल अधिमान्य नियमों की परिभाषा दी गयी है वे ही नवीन यान्त्रिकी के प्रायिकता-मूलक निवचन के पूरा तथा सुसगत स्पष्टीकरण के लिए पर्याप्त हैं। यह जाहिर है कि कुछ छोटी छोटी गौण बात और भी हैं जिनका विवेचन यहाँ उचित नहीं है। यथा प्रायिकताओं का निरपेक्ष मान मालूम करने के लिए इष्ट-फलना के और ψ—फलना का सामान्यीकरण[1] करने की भी आवश्यकता होती है तथा जिन अपकृष्ट[2] दशाओं में इष्ट-मान बहुमानी[3] होते हैं उनके लिए द्वितीय अधिमान्य नियम की परिभाषा का विस्तार भी करना पडता है। किन्तु ये सूक्ष्म बातें हैं और यह कहने में कोई सकोच नहीं हो सकता कि सिद्धान्त की मुख्य मुख्य बातें तो सतोषजनक और सत्र-सगत रीति से प्रमाणित हो ही गयी हैं।

और अब हम उस आपत्ति पर विचार करना चाहते हैं जो अनेक पाठकों के मन में उपस्थित हुई होगी। निसन्देह कई लोग यह कहेंगे कि नवीन यान्त्रिकी का यह प्रायिकतामूलक निवचन सभवत बहुत अच्छा और अत्यत सुसगत तो है किन्तु क्या यह थोडा-सा उच्छृखल या मनमाना[4] नहीं है? चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी की परिपाटी को छोडकर उससे इतनी विपरीत और जटिल धारणाओं का निर्माण क्या किया जाय? इसका उत्तर हमारे पास यही है कि जिस प्रायिकता-मूलक निवचन की रूपरेखा हमने यहाँ दिखायी है उसके अतिरिक्त आज कोई अन्य प्रकार का निवचन सभव ही नहीं है। इससे हमारा तात्पर्य यह है कि इस समय हमारे पास केवल यही उपाय ऐसा है जिससे प्रयोग द्वारा आरोपित तरंग यान्त्रिकी की पृष्ठभूमि में समस्त क्वाटम घटनाओं की व्याख्या हो सकती है। अन्य दिशाओं में किया हुआ कोई भी प्रयत्न अभी तक सफल नहीं हो सका है। इस पुस्तक का लेखक इस बात को दूसरों से अधिक अच्छी तरह जानता है क्योंकि उसने इस प्रकार के प्रयास किये हैं जिन्हें विकट कठिनाइयों के कारण अन्त में छोड देना पडा था।

उपसहार में हम कह सकते हैं कि समस्त प्रायोगिक तथ्यों से सुसगत सिद्धान्त को इन नियमों के आधार पर निर्माण कर सकने की सभावना से तथा इन गुणों से युक्त किसी अन्य उपाय के आविष्कार की असभवता से ही उपयुक्त पूर्व

1 Normalisation 2 Degenerate 3 Multi valued 4 Arbitrary

अधिमाय नियमा का औचित्य प्रकट है। वास्तव मे सभी भौतिक सिद्धान्ता का औचित्य ऐसे ही तर्कों पर निभर रहता है क्याकि प्रत्येक भौतिक सिद्धात के मूल म कुछ मनमाने अधिमाय नियमा का अस्तित्व रहता है और इन नियमा की सफलता ही उनके उपयोग को उचित बना देती ह।

नीचे के अनुच्छेदा में हम उन गभीर विभिन्नताआ का सूक्ष्म विवचन करेंगे जिनके कारण नवीन यान्त्रिकी का प्रायिकतामूलक निवचन और चिर प्रतिष्ठित सिद्धान्त इतने असमान हो गये है। यहा केवल इतना ही कहेंगे कि जिन नियमा का इस अनुच्छेद में अध्ययन किया गया है उनका रूप डिरैक[1] और जाडन[2] जसे वैज्ञानिका की कृतिया में और भी अधिक अमूत और व्यापक हो गया ह और इस नवीन रूप मे इस सिद्धात का नाम रूपातरण सिद्धात[3] है। यह विकास इतनी कठिन गणितीय प्रक्रियाआ के द्वारा हुआ है कि उसका विवेचन यहा नही किया जा सकता।

## २ अनिश्चितता के अनुबन्ध[4]

नवीन यान्त्रिकी के भौतिक निवचन से कुछ अत्यत रोचक और महत्वपूण परिणाम निकलते ह जिनकी ओर सबसे पहले हाइज़नबग ने हमारा ध्यान आकर्षित किया था। गणितीय भाषा में ये उन असमताआ[5] के द्वारा व्यक्त होते है जो आज अनिश्चितता के अनुबन्धा के नाम से प्रसिद्ध है। हाइजनबग ने इन असमताआ को अपनी नवीन क्वाटम यान्त्रिकी के व्यत्ययहीनता[6] के अनुबन्धा की सहायता से प्रमाणित किया था। उनका मम समझाने के लिए हम उस प्रतिरूप का सहारा लेंगे जो तरग-यान्त्रिकी प्रस्तुत करती है। हम यह प्रमाणित करेंगे कि यदि यह मान लिया जाय कि किसी भी कणिका की अवस्था सदैव एक $\psi$–तरग के द्वारा निरूपित हो सकती है तो इस यान्त्रिकी का जो भौतिक निवचन पहले स्वीकार किया जा चुका है उसी स ये असमताएँ अनिवायत प्राप्त हो जाती ह।

सबसे पहले किसी स्वतन्त्र कणिका की आनुषगिक एक वण समतल तरग को लीजिए। हमें विदित ह कि इस तरग द्वारा एक पूणत निर्णीत गत्यात्मक अवस्था निर्दिष्ट होती ह। अतएव इसस एक सुपरिभाषित दिष्ट राशि सवग भी निर्दिष्ट होती है। यही बात हम यह कहकर व्यक्त करते ह कि विचाराधीन अवस्था सवेग

1 Dirac 2 Jordon 3 Theory of transformations 4 The Uncertainty Relations 5 Inequalities 6 Non commutation

की दृष्टि से और फलन ऊर्जा की दृष्टि से भी 'शुद्ध' अवस्था है। किन्तु एक-वर्ण समतल तरंग का आयाम सर्वत्र एक-समान होता है। अत व्यतिक्रम नियम हमें यह कहने के लिए बाध्य करता है कि उस कणिका का स्थान बिलकुल अनिर्णीत है और आकाश के किसी भी बिन्दु पर उसके विद्यमान होने की प्रायिकता सर्वत्र एक-समान है। अत हमें कहना पड़ता है कि किसी कणिका की गत्यात्मक अवस्था के पूर्णत निर्णीत होने में ही उसके आकाशीय स्थान की पूर्ण अनिर्णीतता[1] भी गर्भित है। किन्तु जिस अवस्था में स्वतन्त्र कणिका की आनुषंगिक तरंग एक-वर्ण और समतल होती है वह स्पष्टत समतल तरंगों के अध्यारोपण[2] द्वारा निर्मित तरंग-गुच्छ[3] के ही रूप में विद्यमान रहेगी और तब इस तरंग-गुच्छ का विस्तार कुछ निश्चित सीमाओं में ही निर्धारित किया जा सकेगा। अत कणिका का स्थान भी अधिक अच्छी तरह निर्णीत हो जायगा क्योंकि अनिवार्यत उसका अस्तित्व उस तरंग गुच्छ द्वारा अधिष्ठित प्रदेश में ही सम्भव है और केवल इसी प्रदेश में आयाम का मान शून्य से भिन्न होगा। किन्तु तरंग-गुच्छ का गणितीय निरूपण फूरियर अनुकल्प[4] के जिस प्रसार द्वारा हो सकता है उसमें यह गुण है कि तरंग-गुच्छ का विस्तार जितना ही छोटा होगा उतना ही अधिक विस्तृत उसके फूरियर विश्लेषण के संघटकों द्वारा अधिष्ठित स्पैक्टमीय अन्तराल[5] होगा। इसी बात को हम अधिक अर्थ-सूचक शब्दों में यों कह सकते हैं कि तरंग-गुच्छ का विस्तार जितना ही कम होगा उसमें एक-वर्णता भी उतनी ही कम होगी। तब व्यतिकरण और संवादमाय विश्लेषण के दोनों नियमों के अनुप्रयोग से यह स्पष्ट हो जाता है कि जब किसी कणिका का स्थान अधिक सुनिश्चित होता है तब उसकी गत्यात्मक अवस्था उतनी ही अधिक अनिश्चित होती है। जितना एक तरफ लाभ होता है उतनी ही दूसरी तरफ हानि हो जाती है। अन्त में उस सीमान्त दशा[6] को लीजिए जो एक-वर्ण समतल तरंग से बिलकुल विपरीत है। इसके लिए हम यह कल्पना करेंगे कि ४— तरंग-गुच्छ का विस्तार अनन्तत स्वल्प है। तब आनुषंगिक कणिका का स्थान यथा तथत ज्ञात है अर्थात् हमारे सामने जो अवस्था है वह स्थान की दृष्टि से "शुद्ध" है। किन्तु इस सीमान्त दशा में तरंग-गुच्छ का निरूपण फूरियर-अनुकल्प के एक प्रसार द्वारा होगा जिसमें समस्त सम्भव एक वर्ण समतल तरंगें सम्मिलित होंगी।

1 Indeterminacy 2 Super position 3 Wave packet 4 F[illegible] grals 5 Spectral interval 6 Limiting

अत हमारे मूल नियम हमे यह कहने के लिए बाध्य करेंगे कि इस दशा में गति की अवस्था पूर्णत अनिर्णीत है। अर्थात् स्थान के यथातथ ज्ञान म ही गत्यात्मक अवस्था-सम्बन्धी ज्ञान का पूर्ण अभाव भी गर्भित है। इसलिए व्यापक परिणाम यह निकलता है कि तरग-यान्त्रिकी के भौतिक निवचन में जिन मूल अधिमान्य नियमो का आश्रय लिया गया है उनमे और तरग-गुच्छ का एक-वर्ण तरगो के अध्यारोपण के द्वारा निरूपित करने की विधि में ही यह बात निहित ह कि किसी क्षण पर कणिका के स्थान का और उसी क्षण पर उसकी गति की अवस्था का एक-साथ यथातथ जान लेना असभव है।

जिस तक के द्वारा हाइजनबग के अनिश्चितता के अनुबन्ध प्राप्त होते हैं उनको हमने यहा बहुत कुछ गुणात्मक[1] रूप में ही प्रस्तुत किया है ताकि विषय कुछ सरलता से समझ में आ जाय। यदि उनके तर्क को अधिक दृढतापूर्वक प्रस्फुटित किया जाय तो निम्नलिखित परिणाम निकलता है। किसी निर्देशाक की अनिश्चितता[2] और सवेग के तत्सगत सघटक की अनिश्चितता का गुणनफल सदैव कम-से-कम प्लाक के नियताक h के परिमाण की कोटि[3] का होता है। इस प्रकार पूर्व-कथित अनिश्चितता के अनुबन्ध प्राप्त हो जाते है। इनसे प्रकट होता है कि किसी कणिका का कोई निर्देशाक और उसके सवेग का तत्सगत सघटक दोनो एक-साथ यथाथतापूर्वक नही जाने जा सकते और यदि इन दोनो सयुग्मी[4] राशियो में से एक की अनिश्चितता बहुत कम हो तो दूसरी की बहुत अधिक होती है।

हम यह बात पुन कह देना चाहते ह कि अनिश्चितता के अनुबन्ध एक ओर तो कणिका की अवस्था का किसी तरग से सागत्य स्थापित करने की सभावना के नियमो के तथा दूसरी ओर प्रायिकतामूलक निवचन के व्यापक नियमो के अनिवार्य परिणाम ह। किन्तु इन तर्कों को प्रस्तुत कर देने पर भी यह प्रमाणित करना आवश्यक प्रतीत होता है कि कभी भी और किसी भी प्रकार के नाप के द्वारा स्थान और सवेग का ज्ञान अनिश्चितता के अनुबन्धो द्वारा निर्दिष्ट सीमाओ से अधिक यथाथता-पूर्वक प्राप्त नही किया जा सकता। यदि यह बात सही न हो तो कणिका की अवस्था को सदैव किसी आनुषगिक तरग द्वारा निरूपित करना असभव प्रमाणित होगा। हाइजनबग तथा बोह्र ने नापने की प्रक्रिया का सूक्ष्म और गहन विश्लेषण करके यह सिद्ध कर दिया ह कि किसी भी नाप के परिणाम अनिश्चितता के अनुबन्धो के

1 Qualitative 2 Uncertainty 3 Order of magnitude 4 Conjugate

प्रतिकूल नहीं निकल सकते। और हम देखेंगे कि यह बात निम्नलिखित दो मूल असततताओं के अस्तित्व पर आश्रित है जिनमें कुछ पारस्परिक सम्बन्ध विद्यमान होने की भी अत्यधिक संभावना है। एक ओर तो है क्रिया का क्वांटम और दूसरी ओर है द्रव्य और विकिरण की *असतत संरचना।*

नापने के प्रयोग में अनिश्चितता के अनुबन्ध जितनी यथार्थता की अनुमति देते हैं उससे अधिक यथार्थता क्यों नहीं प्राप्त हो सकती, इसे समझने के लिए मान लीजिए कि हम किसी कणिका के स्थान का यथातथ्य निर्णीत करने का प्रयत्न कर रहे हैं। आकाश के अत्यन्त सूक्ष्म भाग का अन्वेषण करने के लिए सबसे अधिक सुग्राही विधि यह है कि छोटे तरंग-दैर्घ्य के विकिरण का उपयोग किया जाय। यह विधि किसी भी यांत्रिक विधि की अपेक्षा बहुत अधिक सुग्राही है और इसके द्वारा हम आकाश के ऐसे दो बिंदुओं में विभेद कर सकते हैं जिनका अन्तर कम से कम उस तरंग दैर्घ्य के बराबर हो। कणिका का स्थान निर्णीत करने में जितनी ही अधिक यथार्थता हमें अभीष्ट होगी अन्वेषक विकिरण का तरंग-दैर्घ्य भी उतना ही छोटा आवश्यक होगा। किन्तु यहां क्रिया के क्वांटम का अस्तित्व विकिरण के क्वांटम के रूप में प्रकट होता है। अन्वेषक विकिरण का तरंग-दैर्घ्य हम जितना ही घटायेंगे उतनी ही उनकी आवृत्ति बढ़ेगी। फलत उतनी ही उनके फोटानों की ऊर्जा भी बढ़ जायगी। और ये फोटान विचाराधीन कणिका को उतना ही अधिक संवेग प्रदान कर सकेंगे। स्थान का यथातथ्य नाप करने के लिए प्रयुक्त उपकरण हमें यह नहीं बता सकेगा कि नापने की क्रिया में कणिका के संवेग में कितना परिवर्तन हो गया है। अतः नाप पूरा हो चुकने के बाद कणिका का स्थान जितनी ही अधिक यथार्थतापूर्वक ज्ञात हो जायगा उतनी ही अधिक अनिश्चितता कणिका की गत्यात्मक अवस्था में आ जायगी। इसी विवेचन को पारिमाणिक रूप देने से फिर वही अनिश्चितता के अनुबन्ध प्राप्त हो जाते हैं। विपरीततः किसी इलेक्ट्रान के वेग का नाप उसके द्वारा परिक्षिप्त प्रकाश में उत्पन्न डापलर[1] प्रभाव के अध्ययन से हो सकता है। पुनः हम उसी परिणाम पर पहुँचते हैं कि नापने का यंत्र जितनी ही अधिक यथार्थता से किसी कणिका की गत्यात्मक अवस्था को निर्णीत करता है उतनी ही अधिक अनिश्चितता नाप के बाद उस कणिका के स्थान के सम्बन्ध में पैदा हो जायगी। अनिश्चितता के अनुबन्ध इसी तरह

1 Doppler effect

का गणितीय भाषान्तर मात्र हैं। बोह्र हाइज़नबर्ग तथा अन्य वैज्ञानिकों ने इस बात के जो अनेक उदाहरण प्रस्तुत किये हैं उनका विस्तृत वर्णन यहां नहीं किया जा सकता क्योंकि उसके लिए चित्रों और गणितीय सूत्रों की आवश्यकता होगी। ये उदाहरण विश्वासोत्पादक हैं और आज तो प्रायः सब ही भौतिकज्ञ ऐसे मापन यन्त्र के आविष्कार की असम्भवता को स्वीकार करते हैं जो हाइज़नबर्ग की असमताओं में निहित मर्यादाओं का उल्लंघन कर सके।

पिछले दो अनुच्छेदों में वर्णित परिणामों के कुछ दार्शनिक पहलुओं पर विचार करने से पहले हम यह स्पष्ट कर देना चाहते हैं कि अनिश्चितता के प्रतिबन्ध तथा अधिक व्यापक रूप से उपयुक्त प्रायिकता मूलक निर्वचन के व्यापक नियम क्या पुरानी यान्त्रिकी की सत्यापित प्रागुक्तियों के विरोधी नहीं हैं और क्या वे इन प्रागुक्तियों का प्रथम सन्निकटता के रूप में सत्य माने जा सकते हैं।

## ३ पुरानी यान्त्रिकी से सांगत्य[1]

क्वांटम सिद्धान्त के विकास के प्रारम्भ से ही यह बात स्पष्ट थी कि यदि चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी में उत्कृष्ट याथातथ्य नहीं है तो इसका उत्तरदायित्व क्रिया के क्वांटम के अस्तित्व पर है। दूसरे शब्दों में यदि प्लांक के नियतांक का मान शून्य होता तो चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी भी पूर्णतः यथार्थ होती। पुराने क्वांटम सिद्धान्त की सभी शाखाओं में प्लांक के कृष्ण-वस्तु विकिरण सिद्धान्त से लेकर बोह्र तथा सामरफेल्ड की धारणाओं के विकास की पराकाष्ठा तक सर्वत्र हम यही देखते हैं कि h के मान को शून्य की ओर प्रवृत्त करने से क्वांटम सूत्र चिर प्रतिष्ठित सूत्रों से अभिन्नता प्राप्त कर लेते हैं।

यही मूल धारणा नवीन यान्त्रिकी में भी पुनः प्रकट होती है। यदि हम क्वांटम यान्त्रिकी के दृष्टिकोण से विचार करें तो पुरानी और नवीन यान्त्रिकी की समस्त विभिन्नताएँ निर्देशांक निरूपक मैट्रिक्स और उस निर्देशांक के संयुग्मी लाग्रांजीय संवेग का निरूपण करनेवाले मैट्रिक्स की व्यत्ययहीनता के ही कारण उत्पन्न हुई हैं और यदि h का मान शून्य हो तो यह व्यत्ययशीलता की कमी h की अनुपाती होने के कारण लुप्त हो जायगी। यदि हम तरंग-यान्त्रिकी का दृष्टिकोण पसंद करें तो यह प्रकट होता है कि जब h शून्य के बराबर हो तो h का अनुपाती होने के कारण $\psi$—तरंगों

1 The Accord with the Old Mechanics

या तरंग-दैर्घ्य भी शून्य हो जायगा। तब ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान सदैव ही सत्य रहेगा क्योंकि यह समझना कठिन नहीं कि जब तरंग-दैर्घ्य अनन्तत छोटा हो तब ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान सर्वदा अनुप्रयोज्य होता है। इसलिए जब h शून्य की ओर प्रवृत्त होता है तब ψ—तरंग के प्रचरण-समीकरण के स्थान में ज्यामितीय प्रकाश का समीकरण अर्थात् याकोबी का समीकरण सदा ही प्रतिस्थापित हो सकता है और इस प्रकार पुरानी और नवीन यान्त्रिकी की अनन्तस्पर्शी एकात्मता सिद्ध हो जाती है।

अतएव यह समझना भी आसान है कि बड़े परिमाण की घटनाओं—स्थूल स्तरीय घटनाओं—के लिए चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी साधारण व्यवहार में क्या सदैव पूर्णत सत्य प्रमाणित होती है। इन घटनाओं में भौतिक राशियों के मान इतने बड़े होते हैं कि उनमें क्रिया का क्वाटम सर्वथा उपेक्षणीय समझा जा सकता है और उसके अस्तित्व का प्रभाव भौतिक मापन में यथार्थता की अनिवार्य कमी के कारण पूर्णत छिप जाता है। संख्यात्मक उदाहरणों से इस बात को स्पष्ट करना सरल है। यथा, यदि हम एक मिलीग्राम के दशमांश के भारवाली गोली के लिए हाइजनबर्ग की असमताओं का सत्यापन करना चाहें तो उसके वेग का मान एक मिलीमीटर प्रति सेकंड तक सही ज्ञात होने पर भी उसके गुरुत्व-केन्द्र के स्थान का इतना यथार्थतापूर्वक नापने की आवश्यकता पड़ेगी कि उसमें भूल १०$^{-२}$ सेंटीमीटर से भी कम हो। और गोली का भार अत्यन्त स्वल्प होने के कारण यह तो असाधारण रूप से अनुकूल उदाहरण है। किन्तु पुरानी और नवीन यान्त्रिकी के अविरोध को और भी अच्छी तरह समझने के लिए हम एक विशिष्ट दशा का अधिक सूक्ष्म अध्ययन करेंगे।

मान लीजिए कि हम किसी कणिका की स्थूल मापदंडीय गति का अध्ययन कर रहे हैं यथा किसी चुम्बकीय क्षेत्र में इलैक्ट्रान की गति का। हमें विदित है कि चिर प्रतिष्ठित धारणाओं के द्वारा इस गति का बिल्कुल सही विवरण दिया जा सकता है। इस बात का अनिश्चितता के अनुबंधों से मेल कैसे है? इसके स्पष्टीकरण के लिए सबसे पहले हमें यह कहना है कि इस स्थूल-स्तरीय प्रयोग की परिस्थिति में हम जितनी लम्बाई का प्रत्यक्षत नाप सकेंगे वह विचाराधीन स्वल्प कणिका की आनुषंगिक तरंग के तरंग-दैर्घ्य की अपेक्षा बहुत ही बड़ी है। फलत एसे तरंग गुच्छ का अस्तित्व संभव है जिसकी लम्बाई प्रत्यक्षत नापी जा सकनेवाली लम्बाई से बहुत छोटी हो, किन्तु फिर भी वह लगभग बराबर तरंग-दैर्घ्यवाली तरंगों से निर्मित हुआ हो। इसलिए सु-अनुष्ठित तथा यथार्थतापूर्ण प्रयोग में

कणिका का ज्ञान सम्भव हो जाने के बाद भी स्थिति का निरूपण हुआ है अनुरूपता का प्रतिरोध[1] किये बिना ही, एक तरंग-समूह[2] के द्वारा हो सकता। और यदि यह तरंग-समूह हमारे लिए व्यवहारतः बिन्दुरूप और स्थिर हो तो इसलिए इन स्थूल-स्थानीय माप की यथार्थता की सीमाओं में हम उस कणिका के लिए एक सुनिर्णीत स्थान और एक सुनिश्चित वेग निर्धारित कर सकेंगे। इसके अतिरिक्त नवयान्त्रिकी के प्रारम्भ में ही प्राप्त एक मौलिक परिणाम के अनुसार प्रतिरूप तरंग-समूह[3] के पथ का विस्थापन-वेग ठीक उतना ही होता है जितना कि चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी उसकी आनुषंगिक कणिका के लिए निर्धारित करती। अतएव हमारा बिन्दुवत् तरंग-गुच्छ[4] ठीक चिर प्रतिष्ठित कणिका के ही समान गमन करता और यदि व्यतिकरण नियम के अनुसार वास्तविक कणिका सदैव उस तरंग-गुच्छ के भीतर ही अवस्थित रहेगी इसलिए सब कुछ ठीक उसी तरह घटित होगा मानो वास्तविक कणिका चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी के नियमों का ही पालन करती हो। इस उदाहरण से हम यह अच्छी तरह समझ सकते हैं कि क्वाण्टम जनित अनिश्चितता के गुप्त रहने का कारण केवल यही है कि हमारे स्थूलस्तरीय मापों में यथार्थता की कमी है।

इसलिए नवीन और पुरानी यान्त्रिकी की विरोधहीनता के विषय में कोई गंभीर कठिनाई नहीं है। ऐसा जान पड़ता है कि क्वाण्टम भौतिकी के भवन का निर्माण चिर प्रतिष्ठित भौतिकी के ही द्वारा आरम्भ किया गया है जिससे चिर प्रतिष्ठित भौतिकी नष्ट तो हुई नहीं, किन्तु एक अधिक विशाल भवन में समाविष्ट हो गयी है। विज्ञान के लम्बे इतिहास में सदा ही प्रगति इसी प्रकार उत्तरोत्तरवर्ती संश्लिष्टनों के द्वारा होती रही है।

## ४ नवीन यान्त्रिकी में अनिर्णीतता[5]

जब किसी प्रारम्भिक क्षण पर किसी निकाय के सब अंगों के स्थान और गत्यात्मक अवस्थाएँ ज्ञात हो तो चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी के समीकरण उस निकाय की गति को पूर्णतः निर्णीत कर देते हैं। यथा किसी कणिका की चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकीय गति की प्रागुक्ति पूर्ण रूप से सम्भव है यदि किसी आदि-क्षण पर उसका स्थान तथा वेग ज्ञात हो। किसी यान्त्रिक निकाय की वर्तमान अवस्था से सम्पूर्ण से

1 Contradiction 2 Wave group 3 Group 4 Point like Wave packet 5 Indeterminism in the New Mechanics

कुछ बात ज्ञात होने पर उससे अनिवार्य भविष्य की प्रागुक्ति की सम्भावना ही चिर-प्रतिष्ठित यान्त्रिकी का नियतिवाद[1] है। इस यान्त्रिकी को जो आश्चर्यजनक सफलताएँ मिली थीं विशेषकर गणित-ज्योतिष में, उन्हीं के कारण समस्त भौतिकज्ञों का प्रयत्न यही था कि सद्धान्तिक भौतिक विज्ञान का निर्माण भी ऐसा होना चाहिए जिसमें यह नियतिवाद सर्वदा सत्य प्रमाणित हो सके। अतः जितनी भी स्थूल-स्तरीय घटनाओं का अध्ययन किया गया उन सबमें इस माँग की पूर्ति अभीष्ट समझी गयी और समस्त चिर प्रतिष्ठित सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान अवकलजों[2] तथा आंशिक अवकलजों[3] के समीकरणों पर आश्रित किया गया ताकि आदि अवस्था सम्बन्धी कुछ न्यासों[4] से प्रारम्भ करके किसी भी भौतिक निकाय के उत्तरोत्तर विकास का प्रकृष्ट परि-कलन[5] हो सके। भौतिक विज्ञान की जिन शाखाओं में प्रायिकता-कलन निविष्ट किया गया था उनमें भी यही मान लिया जाता था कि मूल घटनाएँ तो सदैव नियति के कठोर नियमों का ही पालन करती हैं, किन्तु जो स्थूल घटना अध्ययन का विषय होती हैं उसमें समाविष्ट इन मौलिक घटनाओं की यदृच्छता[7] के तथा उनकी बहुत बड़ी संख्या के कारण ही इन घटनाओं की समष्टि के लिए सांख्यिकीय विधियों का तथा प्रायिकता की धारणा का उपयोग उचित समझा जा सकता है। बहुत कुछ अनजाने ही भौतिक घटनाओं की आन्तरिक नियति अर्थात् कम-से-कम सिद्धान्ततः उनकी पूर्ण प्रागुक्ति की सम्भावना ने एक प्रकार के वैज्ञानिक आगम[8] का रूप ले लिया था। हम देखेंगे कि नवीन क्वाण्टम सिद्धान्तों के विकास ने इस स्थिति में गहन परिवर्तन कर दिया है।

इस दृष्टि से पुरानी और नवीन यान्त्रिकी में जो अन्तर है उसको हृदयंगम करने के लिए हमें स्मरण रखना चाहिए कि किसी निकाय के परिवर्तनों की प्रकृष्ट प्रागुक्ति के लिए चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी में आदि अवस्था सम्बन्धी जिन मूल बातों का यौगपदिक ज्ञान आवश्यक था वे ठीक वही हैं जिनका यौगपदिक निर्णयन अनिश्चितता के अनुबन्धों के अनुसार असम्भव है। हम पहले भी कह चुके हैं कि किसी निकाय के चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकीय गति-समीकरणों का प्रकृष्ट हल निकालने के लिए किसी ज्ञात क्षण पर उस निकाय के अवयवों का विन्यास (कान्फिगरेशन) और उनकी गत्यात्मक अवस्था का जानना जरूरी है। किन्तु आधुनिक भौतिक विज्ञान की दृष्टि में

1 Determinism 2 Derivatives 3 Partial Derivatives 4 Data 5 Rigorous calculation 6 Calcules of probablities 7 Randomness 8 Dogma

प्रत्येक निकाय अतिम विश्लेषण मे केवल अनव कणिकाआ का समुदाय मात्र समझा जा सकता ह । अत किसी एक ही क्षण पर इन सब विभिन्न कणिकाआ के निर्देशाक और वग (अथवा सवग) मालूम करना आवश्यक हागा । किन्तु अनिश्चितता के अनुबन्धा का वास्तविक अथ यही है कि इन बाता का यथार्थतापूर्ण तथा यौगपदिक ज्ञान असभव ह । इसमे सन्देह नही कि जो नियताक h हमारे साधारण मानका की अपक्षा अत्यन्त ही स्वल्प है उसकी पारिमाणिक काटि के कारण क्वाटमीय अनिश्चितताएँ साधारण मापदडीय भौतिक घटनाआ के लिए उपक्षणीय हा जाती हैं । अत नियतिवाद भी पद्दृष्टत सत्य दिखाई देने लगता है । किन्तु भौतिक घटनाआ के सूक्ष्म स्तरीय अध्ययन में इन अनिश्चितताआ का महत्त्व बहुत अधिक हागा आर उस क्षेत्र में ये अनिश्चितताएँ इतनी बढ जायगी कि घटना क्रम का नियतिवाद-समथक विवरण सभव ही न रहगा ।

क्वाटम भौतिक विज्ञान में से नियतिवाद के तिराहित हा जाने स—कम स कम उसके शिथिल हा जाने से—जा कमी हुई थी वह पूरी हुई ह प्रायिकता के नियमा क प्रादुर्भाव स । किन्तु सांख्यिकीय यान्त्रिकी के प्रसग मे प्रायिकता के उपयोग का जा अथ था वह यहा नहा है । यहा प्रायिकता का निविष्ट करने का उद्देश्य सवथा भिन्न ह । जिन चिर प्रतिष्ठित सिद्धान्ता में पायिकता का उपयाग किया जाता ह उनम भी यह बात ता मान ही ली जाती थी कि मूल प्रक्रियाएँ दृढ नियमा के ही अधीन रहती ह । और प्रायिकता का सहारा केवल ऐसी स्थूल-स्तरीय घटना के सम्बन्ध मे लिया जाता ह जिसमे मौलिक घटनाआ की बहुत बडी सख्या समाविष्ट हा । इसके विपरीत क्वाटम भौतिकी में प्रायिकता का उपयाग मौलिक घटनाक्रम क ही विवरण क लिए प्रयुक्त किया जाता है । यह समस्या किस रूप में उपस्थित हाती है इसका अधिक अच्छी तरह समझने के लिए हमे यह बताना पडेगा कि यह नवीन यान्त्रिकी मालिक घटनाक्रम का तरगा के द्वारा किस प्रकार निरूपित करती है ।

पहले हम अकेली एक कणिका के ही आधार पर अपना तक प्रस्तुत करग । परिच्छेद १२ में बतायी हुई विधि से इसी विचार धारा का उपयाग अनक कणिकाआ के निकाय के लिए भी हा सकता ह ।

थोडे स प्रेक्षणा या प्रयागा के परिणाम ज्ञात हाने पर अन्य प्रेक्षणा अथवा भविष्य म हानेवाले प्रयागा के परिणामा का प्रागुक्ति कर दना ही सद्धान्तिक भौतिक विज्ञान का उद्देश्य है । चिर प्रतिष्ठित भौतिकी में यह मान लिया जाता ह कि किसी कणिका क निर्देशाक और उसक तत्क्षणिक वग दाना का ही यौगपदिक ज्ञान सभव ह । अत चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी क समीकरणा क द्वारा हम सिद्धान्तत उसी कणिका पर किसी

आगामी क्षण में किये गये प्रेक्षण अथवा माप के परिणाम की असन्दिग्ध प्रागुक्ति कर सकते हैं। किन्तु इसके विपरीत नवीन यान्त्रिकी में हम प्रारम्भ में ही यह मान लेते हैं कि उस कणिका के निर्देशांकों का तथा संवेग का यौगपदिक एवं प्रकृष्टतः यथार्थ नाप असम्भव है। अधिकतम प्रयोग-सम्भव यथार्थतापूर्वक किये जाने पर भी इन राशियों के नाप में हाइज़नबर्ग के अनिश्चितता के अनुबन्धों द्वारा निर्धारित परिमाण से कम अनिश्चितता प्राप्त करना सम्भव नहीं हो सकता। माप के पश्चात् कणिका की जो अवस्था ज्ञात होगी वह जिस आनुषंगिक तरंग गुच्छ के द्वारा निरूपित होगी वह कभी भी ऐसा नहीं हो सकता जो बिन्दु-कल्प भी हो और एक-वर्ण भी हो। या तो आकाश में या आवृत्तियों के परास में और सामान्यतः दोनों में सदैव उसका कुछ-न-कुछ विस्तार होगा ही। तब $\psi$–तरंग के आदि रूप से प्रारम्भ करके प्रचरण-समीकरण के द्वारा हम उस तरंग के उस समय तक के समस्त विकास का यथातथ परिकलन कर सकेंगे जब तक कि उसका कोई नवीन प्रेक्षण अथवा माप न किया जाय। फलतः हम यह भी बता सकेंगे कि कणिका-सम्बन्धी अमुक राशि का अमुक मान प्राप्त करने की प्रायिकता उस क्षण पर कितनी होगी जिस क्षण पर उस राशि का नाप फिर किया जायगा। जब यह नवीन माप सम्पन्न हो चुकेगा तब हमें उस कणिका की अवस्था के सम्बन्ध में नवीन ज्ञान प्राप्त हो जायगा और इससे प्रायिकता-सम्बन्धी स्थिति बिल्कुल बदल जायगी, ठीक उसी तरह जिस तरह कि किसी घटना सम्बन्धी ज्ञान प्राप्त हो जाने पर उस घटना की प्रायिकता सम्बन्धी स्थिति बदल जाती है। अतः इस नवीन माप के बाद एक ऐसी नयी तरंग का निर्माण करना पड़ेगा जो उस कणिका सम्बन्धी हमारे ज्ञान की नवीन स्थिति को निरूपित कर सके। इस परिच्छेद के प्रारम्भ में जिस विचार का विवेचन किया गया था, उसके अनुसार हम कहेंगे कि क्रिया के क्वाण्टम के अस्तित्व के कारण प्रत्येक प्रयोग कणिका की अवस्था में कुछ ऐसे विकार उत्पन्न कर देता है जिनका नियन्त्रण नहीं किया जा सकता। इसका फल यह होता है कि पूर्ववर्ती अवस्था और परवर्ती अवस्था में कोई कार्य कारण सम्बन्ध स्थापित नहीं किया जा सकता। यह विकार क्रिया के क्वाण्टम के अस्तित्व से सम्बद्ध है जैसा कि हम पहले—विशेषकर पिछले अनुच्छेद में—देख चुके हैं और माप की प्रक्रिया सम्बन्धी अनिश्चितता के कारणों को असीमतः घटाने में यही बाधक होता है। दो मापों के मध्यवर्ती समय में $\psi$–तरंग का विकास उसके आदि रूप के और प्रचरण-समीकरण के द्वारा पूर्णतः निर्णीत हो जाता है। अतः यह तो प्रकृष्ट नियति के नियमों का पालन करता है। किन्तु इससे यह परिणाम किसी भी तरह नहीं निकाला जा सकता कि प्रेक्ष्य और माप्य घटनाओं में भी प्रकृष्ट नियति विद्यमान है क्योंकि

अरुचिकर है कि आधुनिक क्वाटम भौतिकी के लिए अनिवाय होने पर भी वे प्रकृष्ट नियतिवाद के परित्याग को अतिम रूप में स्वीकार कर लें। वे तो यहाँ तक कहते है कि नियति शून्य विज्ञान की तो कल्पना ही नही की जा सकती। इस मत को हम तो अतिशयोक्ति ही समझते ह क्योकि क्वाटम भौतिकी का अस्तित्व तो है ही और वह नियतिशून्य भी है। किन्तु यह विचार भी हमें पूणत अनुचित नही जान पडता कि किसी न किसी दिन भौतिक विज्ञान पुन नियतिवाद के पथ पर लौट आयगा और तब इस विज्ञान की वतमान अवस्था को हम ऐसी समझने लगेंगे मानो क्षण भर के लिए रास्ता भूलकर हम चक्कर में पड गये थे और हमारी धारणाओ की अपर्याप्तता ने हमें विवश कर दिया था कि पारमाणविक क्षेत्र में हम ठीक नियतिवाद के पथ पर चलना थोडे समय के लिए तो छोड ही दें। यह सभव है कि सूक्ष्म-स्तरीय जगत में काय-कारण के नियम का अनुसरण करने की हमारी वतमान अक्षमता का कारण यही है कि हम कणिका, आकाश काल आदि धारणाओ का उपयोग करते ह। ये धारणाएँ हमने अपने वतमान स्थूल-स्तरीय अनुभव के आधार पर बनायी है और इन्ही का हम सूक्ष्मस्तरीय विवरण में भी उपयोग करना चाहते है। किन्तु कोई भी बात ऐसी नही है जो हमें विश्वास दिला सके कि इस क्षेत्र में वास्तविकता का निरूपण करने के योग्य क्षमता इन धारणाओ में है। वस्तुत तथ्य इससे विपरीत ही मालूम पडता है। यद्यपि हम यह मानते ह कि अभी क्वाटम भौतिकी को स्पष्टत समझ सकने के लिए अनेक मौलिक सशोधनो की आवश्यकता ह तब भी व्यक्तिगत रूप से मुझे यह अधिक सभव नही मालूम देता कि हम पूव कालीन नियतिवाद को पूण रूप से पुन प्रतिष्ठित कर सकें। नवीन यान्त्रिकी के विकास से उसे जो आघात लगे ह वे इतने गहरे ह कि उन्हें मिटा देना सभव नही है। निसन्देह बुद्धिमानी यही कहने में है कि इस समय तो क्वाटम जनित घटनाओ का भौतिक विज्ञान नियतिवादी नही है।*

## ५ परिपूरकता, आदर्शीकरण, आकाश और काल[1]

नवीन यान्त्रिकी की धारणाओ ने जो मौलिक रूप ग्रहण किया ह उसके शून्याथ को स्पष्ट करने में बोह्र ने जिनका काय आधुनिक भौतिकी के विकास म आदि स

* न्यूमान (J Von Neumann) ने प्रमाणित कर दिया है कि नवीन यान्त्रिकी के प्रायिकता मय नियम किसी भी प्रकार की प्रच्छन्न नियति के अस्तित्व से असगत है। अत यह अत्यन्त दुघटनीय है कि भविष्य में पारमाणविक भौतिकी में नियतिवाद की प्रतिष्ठा पुन हो सके।

1 Complementarity Idealisation Space and Time

अत तक अत्यत महत्त्वपूण रहा ह अपने मदव गहन और बहुधा विलक्षण अध्ययनो से बहुत बडी सहायता प्रदान की हैं। विशेषत परिपूरकता की धारणा, जो दार्शनिक दष्टिकोण स इतनी विचित्र ह उन्ही की दन ह।

इलैक्टाना जसी किसी भी सत्ता के विवरण मे कणिकात्मक चित्र की जितनी आवश्यकता हाती है उतनी ही तरगात्मक चित्र की भी। इमी तथ्य का लकर प्रारम्भ मे बाह्र क सामने यह प्रश्न उपस्थित हुआ था कि जा दाना चित्र इतने भिन्न ह और जिन्हें परस्पर विराधो भी कहा जा सकता ह उनका उपयाग एक ही समय में कस किया जा सकता है। तब उन्हाने सिद्ध किया कि क्रिया के क्वाटम क अस्तित्व के कारण जिन अनिश्चितता के अनुबन्धा का प्रादुभाव हुआ है व इन दोना चित्रा का कभी भी प्रत्यक्षत विराधी रूप में उपस्थित नही हान दन। प्रेक्षणा के द्वारा किमी एक चित्र को जितना ही अधिक स्पष्ट किया जाता ह उतना ही अधिक अस्पष्ट दूमरा चित्र हा जाता ह। जब इलक्ट्रान का तरग दैर्घ्य इतना सुनिर्णीत हाता है कि वह स्वय अपने ही आप से व्यतिकरण कर सके तब उस इलक्ट्रान के स्थान का ठीक ठीक पता ही नही लग सकता और कणिकात्मक चित्र से उसकी जरा भी समानता नही रहती। और इसके विपरीत जब इलक्टान का स्थान यथावत निर्णीत होता ह तब उसके व्यतिकरण गुण का लाप हा जाता है और तरगात्मक चित्र मे उसका कोई सम्बन्ध ही नही दिखाई देता। कणिकात्मक गुण और तरगात्मक गुण का प्रत्यक्ष विराध कभी नही हाता क्योकि एक ही समय दाना का अस्तित्व कभी नही रहता। हम कणिका और तरग के युद्ध की बराबर प्रतीक्षा करत रहत ह किन्तु वह युद्ध कभी हाना ही नही क्योकि सदैव दाना में स केवल एक ही प्रतिपक्षी उपस्थित रहता है। इलक्ट्रान तथा भौतिक विज्ञान का अन्य मौलिक सत्ताएँ सब ऐसा हाना है कि जिनके दो रूप हात ह जा परस्पर विरोधी तथा असमेय हाने है फिर भी उनके समस्त गुणा की व्याख्या के लिए दाना ही रूपा का उत्तरोत्तर उपयोग करना आवश्यक हाना ह। इनकी तुलना किसी वस्तु के दा पहलुआ स की जा सकती है जिन्हे एक-साथ देखना तो सम्भव नही होता किन्तु उस वस्तु का पूरा विवरण दन क लिए उत्तरोत्तर दोनो ही पहलुओ का निरीक्षण जरूरी हाना ह। बाह्र ने इन दोना रूपा का नाम परिपूरक रूप रखा ह जिसका अर्थ यह है कि ये रूप एक ओर तो परस्पर विराधी ह और दूसरी ओर प्रत्येक रूप दूसरे रूप की कमी पूरा करता है और ऐसा जान पडता है कि परिपूरकता की इस धारणा क सार भाग ने अब एक सच्चे दार्शनिक सिद्धान्त का महत्त्व प्राप्त कर लिया ह।

वास्तव में यह बात किसी प्रकार भी सुस्पष्ट नहीं है कि किसी भी भौतिक सत्ता का वर्णन आरम्भ से ही किन्हीं चित्रों द्वारा या हमारी बुद्धि की किसी एक ही धारणा के द्वारा हो सकता है। हम अपने दैनिक अनुभवों के आधार पर अपने मानस चित्रों और धारणाओं का निर्माण करते हैं। इस अनुभव में से ही हम कुछ आकृतियों को छाँट लेते हैं और वहीं से प्रारम्भ करके सरलीकरण और अपकर्षण[1] के द्वारा कुछ सरल चित्र, कुछ स्पष्ट प्रतीत होनेवाली धारणाएँ बना लेते हैं और अन्त में इन्हीं के द्वारा घटनाओं का मर्म समझने का प्रयत्न करते हैं। सुनिर्णीत स्थान में अवस्थित कणिका की तथा सम्बन्धित एकवर्ण तरंग की धारणाएँ भी इसी प्रकार के आदर्श चित्र हैं। किन्तु यह सम्भव है कि जो आदर्श चित्र हमारे मन में जन्मजात संगृहीत तथा अत्यन्त दृढ़ रूप में उत्पन्न हुए हैं और जिन्हें बोह्र आदर्शीकरण[2] कहते हैं, उनके द्वारा वास्तविकता का यथार्थतापूर्वक निरूपण कभी भी नहीं किया जा सकता। अतः वास्तविकता की जटिलता का वर्णन करने के लिए यह आवश्यक हो सकता है कि एक ही सत्ता के लिए दो या अनेक आदर्श चित्रों का उत्तरोत्तर उपयोग करना पड़े। कभी एक चित्र अधिक उपयुक्त होगा और कभी दूसरा। कभी-कभी पिछले अनुच्छेद की 'शुद्ध' दशा में विचाराधीन सत्ता के वर्णन के लिए दोनों चित्रों में से केवल एक ही यथार्थतः उपयोगी होगा। किन्तु ऐसी दशाएँ असाधारणतः विरल ही होंगी। सामान्यतः तो हमें दो आदर्श चित्रों का सहारा लेना ही पड़ेगा।

यदि हम बोह्र की जटिल विचारधारा को ठीक-ठीक समझ सकें, तो ये ही उन वस्तुतः मौलिक विचारों में से कुछ हैं जो इस प्रतिभापूर्ण भौतिकज्ञ के मस्तिष्क में क्वाटम भौतिकी द्वारा प्रेरित हुए थे। सम्भवतः इन दार्शनिक विचारों के उपयोग का क्षेत्र भौतिक विज्ञान की सीमाओं से बाहर भी विस्तारित करने का प्रयत्न किया जा सकता है। उदाहरण के लिए स्वयं बोह्र का अनुसरण करके हम यह जानने का प्रयत्न कर सकते हैं कि क्या परिपूरकता की धारणा के महत्त्वपूर्ण उपयोग जीव विज्ञान[3] में नहीं हो सकते और क्या उससे हमें जीवन सम्बन्धी घटनाओं के भौतिक रासायनिक पहलुओं के तथा विशिष्टतः जैव[4] पहलुओं के द्वैत को समझने में सहायता नहीं मिल सकती? दूसरे विचार-क्षेत्र में हम इस बात की विवेचना भी कर सकते हैं कि क्या सभी आदर्शीकरण ऐसे नहीं होते कि जितनी ही अधिक पूर्णता उनमें

1 Abstraction 2 Idealisations 3 Biology 4 Vital

होती है वास्तविकता के लिए व उतने ही कम उपयोगी हो जाते हैं। यद्यपि हमारी रुचि विरोधाभास[1] की ओर उन्मुख नहीं है तथापि देकार्ते[2] के मत के प्रतिकूल हम यह मत भी प्रकट कर सकते हैं कि स्पष्ट और परिच्छिन्न धारणा से अधिक भ्रान्ति जनक और कोई चीज नहीं हो सकती। किन्तु इस भयंकर स्थान पर रुक जाने में और भौतिक विज्ञान पर लौट जाने में ही बुद्धिमानी है।

किन्तु इससे भी अधिक निश्चित बात यह है कि आकाश और काल सम्बन्धी हमारी प्रचलित मान्यताएँ आपेक्षिकता के सिद्धान्त द्वारा गंभीर परिवर्तन हो जाने पर भी परमाणविक घटनाओं के वर्णन के लिए यथार्थत उपयुक्त नहीं है। हम पहले ही देख चुके हैं—मुख्यत भूमिका में ही—कि क्रिया के क्वांटम के अस्तित्व में ही ज्यामिति या गति विज्ञान के साथ एक पूर्णत अनपेक्षित सम्बन्ध निहित है। भौतिक सत्ताओं का आकाश और काल के ज्यामितीय ढाँचे में अवस्थापन[3] उन सत्ताओं की गत्यात्मक अवस्था से स्वतन्त्र प्रमाणित नहीं होता। इसमें सन्देह नहीं कि व्यापक आपेक्षिकता के सिद्धान्त ने हमें यह बता दिया है कि दिक्-काल के स्थानीय लक्षण विश्व में द्रव्य के वितरण[4] पर अवलम्बित होते हैं। किन्तु क्वांटमों के अस्तित्व के कारण दिक्-काल में जिस परिवर्तन की आवश्यकता है वह और भी अधिक गंभीर है और अब हम न तो किसी भौतिक वस्तु की गति को दिक्-काल में एक रेखा (विश्व रेखा[5]) के द्वारा निरूपित ही कर सकते हैं और न हम काल-प्रवाह में उत्तरोत्तरवर्ती आकाशीय अवस्थापना को निरूपित करनेवाले वक्र के द्वारा उसकी गत्यात्मक अवस्था को ही निर्दिष्ट कर सकते हैं। अब तो हम गत्यात्मक अवस्था को दिक्कालीय अवस्थापना से व्युत्पन्न भी नहीं समझ सकते। उसे तो अब भौतिक वास्तविकता का एक स्वतन्त्र और परिपूरक पहलू समझने के लिए हमें विवश होना पड़ा है।

सच तो यह है कि हमारे दैनिक अनुभव से आकाश और काल सम्बन्धी जिन धारणाओं का जन्म हुआ था वे केवल स्थूल मापदंडीय घटनाओं के ही लिए सत्यता-पूर्ण हैं। अब उनके स्थान में अन्य मौलिक धारणाओं को प्रतिस्थापित करना आवश्यक हो गया है जो सूक्ष्म-स्तरीय भौतिक विज्ञान के क्षेत्र में सत्यतापूर्ण प्रमाणित हों और जो ऐसी भी हों कि जब हम इन मौलिक घटनाओं से साधारण मापदंडवाली प्रेक्षणीय घटनाओं में संक्रमण करें तब अनन्तस्पर्शी रूप से वे पुन हमारी आकाश और काल

1 Paradox 2 De cartes 3 Localisation 4 Distribution of matter 5 World line

सम्बन्धी साधारण धारणाओं में परिणत हो जायें। क्या यह भी कहने की आवश्यकता है कि यह काम अत्यन्त कठिन है? हमें तो इसमें बहुत सन्देह है कि कभी भी ऐसा सभव हो सकेगा कि जो हमारे नित्यप्रति के जीवन का मुख्य आधार हैं उसी को हम इस प्रसग मे से निकाल फेंकने में सफलता प्राप्त कर सकें। किन्तु विज्ञान का इतिहास मानव-बुद्धि की उत्कृष्ट सर्जन शक्ति का साक्षी है। अत निराश होने का कोई कारण नही है। किन्तु जब तक हम निर्दिष्ट दिशा में अपनी धारणाओं का प्रसार करने में सफलता प्राप्त नही कर लेते तब तक तो हमें यही प्रयत्न करते रहना होगा कि सूक्ष्म-स्तरीय घटनाओं को भी हम आकाश और काल के ढाचे में ही निरूपित कर सकें चाहे परिणाम कितना ही अशोभन क्यों न हो और चाहे हमें भी वैसी ही कष्टकर भावना का अनुभव करना पड़े जो उस कारीगर के मन में पैदा होती है जिसे किसी रत्न को ऐसे जेवर में जडना पड़े जिसमें दूसरे ही किसी बडे या छोटे नग को बैठाने का स्थान पहले से बना हुआ हो।

## ६ क्या क्वाटम-भौतिकी अनियतिवादी ही रहेगी[1]?

मेरे 'तरग-यान्त्रिकी के प्रारम्भ काल के व्यक्तिगत सस्मरण' शीर्षक लेख में जो "रेव द मेताफिजीक ए द मोराल[2] नामक पत्र में प्रकाशित हुआ था और जो बाद म मेरी पुस्तक 'भौतिकी तथा सूक्ष्म भौतिकी'[3] में भी छाप दिया गया था, मैने तरग यान्त्रिकी के निर्वचन के सम्बन्ध में उन मानसिक अवस्थाओं का वर्णन किया था जिनका १९२३ से १९२८ तक मुझे अनुभव हुआ था। उसमें मैंने यह स्पष्ट कर दिया था कि यद्यपि मैंने तरग-यान्त्रिकी के ऐसे रूप का विकास करने का बहुत प्रयत्न किया जो मूर्त और नियतिवादी हो और जिसका कम-से-कम स्थूल रूप से तो भौतिक विज्ञान की सनातन[4] धारणाओं से सातत्य बना रहे। किन्तु जिन कठिनाइयों का मुझे सामना करना पड़ा था और जो आपत्तियां उसके विरुद्ध उठायी गयी थी उनके कारण अन्त में मुझे भी बोह्र और हाइजनबर्ग के अनियतिवादी तथा प्रायिकतामूलक दृष्टिकोण को ही स्वीकार करना पड़ा। लगभग २५ वर्षों से बराबर उसी दृष्टिकोण पर मेरी श्रद्धा रही है और अपने अध्यापन में अपने व्याख्यानों में और अपनी पुस्तकों में मैं उसी पर दृढ़ रहा हूँ। इसके अतिरिक्त अब तो लगभग सभी सैद्धांतिक भौतिकज्ञ न भी इसी दृष्टिकोण को स्वीकार कर

1 Will Quantum Physics Remain Indeterministic? 2 Revue de Metaphysique et de Morale 3 Physique et Micro physique 4 Traditional

लिया ह। १९५१ मे मुझे अमरिका के युवा भौतिकज्ञ श्री डेविड वाह्म[1] का एक मनीपूर्ण व्यक्तिगत पत्र मिला जिसस मुझे उनके उस लेख का पता लगा जो फिजिकल रिव्यू[2] के १५ जनवरी, १९५२ के अक मे प्रकाशित हुआ था। इस लेख में श्री वाह्म ने मेरी १९२७ की धारणाओ को—कम मे कम मर ही दिये हुए एक विशिष्ट रूप मे—पूणत स्वीकार कर लिया था और उनमे जो कमी कई वातो के सम्बन्ध में थी, उस रोचक ढग से पूरा कर दिया था। इसके बाद जे० पी० विजियर[3] ने मेरा ध्यान उन दोना उपपत्तियो[4] की समानता की ओर आकर्षित किया—एक तो वह जो आइन्स्टाइन ने व्यापक आपक्षिकतावाद में, कणो की गति के सम्बन्ध में, प्रस्तुत की थी और दूसरी वह जो मने १९२७ में अपनी द्वि साधन सिद्धान्त[5] नामक परिकल्पना मे सवथा स्वतन्त्र रूप से प्रस्तुत की थी। इन सब बातो के कारण मेरा ध्यान इन समस्याओ की ओर फिर स आकर्षित हुआ ह और यद्यपि अब भी मैं यह कहने को राजी नही हूँ कि मेरा उस समय की धारणाओ के आधार पर तरग यान्त्रिकी मे नियतिवाद का फिर से प्रतिष्ठित कर देना सभव है तथापि म समझता हूँ कि यह प्रश्न पुन विचार करने योग्य ह। किन्तु हमें समस्त पूवत कल्पित दाशनिक धारणाओ से सतर्क रहना चाहिए और केवल इतना ही जानने का प्रयत्न करना चाहिए कि क्या इस माग स भी सुनिर्णीत तथ्यो का कोई पूर्वापर विरोधहीन निवचन प्राप्त हो सकता ह।

१९२० क लगभग जब मैं लम्बी युद्ध-सेवा के बाद पुन वैज्ञानिक अनुसधान मे प्रवृत्त हुआ उस समय स्थिति निम्नलिखित प्रकार की थी। एक ओर तो फोटोनो का अस्तित्व निश्चित ही जान पडता था और काम्पटन प्रभाव[6] तथा रामन प्रभाव[7] के आविष्कारो के द्वारा इसका नवीन समथन भी मिलने ही वाला था। किन्तु फोटान की परिभाषा में उपस्थित आवृत्ति का निविष्ट करने के लिए तथा व्यतिकरण तथा विवतन की समस्त घटनाओ की व्याख्या करने के लिए तरग सिद्धान्त की आवश्यकता ने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि प्रकाश के तरग कणिका-द्वैत का प्रकट करनेवाला सश्लेषात्मक[8] दृष्टिकोण भी अनिवाय है। दूसरी ओर सूक्ष्म मापदडीय क्षेत्र में कणिकाओ की क्वाटमित गति व अस्तित्व स इलक्ट्रानो तथा अन्य द्रव्य-कणिकाओ के लिए भी तरग-कणिका-द्वैत की धारणा

1 David Bohm 2 Physical Review 3 J P Vigier 4 Demonstrations 5 Theory of Double Solution 6 Compton effect 7 Raman effect 8 Synthetic

का प्रादुर्भाव होता है। अतः मुझे तो स्पष्टतः किसी ऐसे संश्लेषण की आवश्यकता प्रतीत हुई जो द्रव्य तथा प्रकाश दोनों के ही लिए अनुप्रयोज्य हो और जिसमें अवि-भक्त ग्रथित तरंगमय और कणिकामय पक्ष ऐसे सूत्रों के द्वारा सबद्ध हों जिनमें प्लांक का नियतांक आवश्यक रूप से विद्यमान रहे।

यह वही संश्लेषण है जिसका बीज मैंने उन टिप्पणियों में प्रस्तुत किया था जो १९२३ की शरद् ऋतु के प्रारम्भ में एकेडमी आफ साइंसेज[1] की 'कांत रान्दु'[2] नामक पत्रिका में प्रकट हुई थीं और जिनको अधिक पूर्ण रूप मैंने डाक्टर की उपाधि के लिए नवम्बर १९२४ में निवेदित अपने अनुसंधान प्रबन्ध[3] में सम्मिलित कर दिया था। आपेक्षिकीय विचारधारा की तथा गत शताब्दी में हैमिल्टन द्वारा विकसित विचारधारा की अनुप्रेरणा से मुझे कणिका की गति के साथ ऐसी तरंग के प्रचरण का सम्बन्ध स्थापित करने में सफलता मिल गयी थी जिसकी आवृत्ति और तरंग-दैर्घ्य के साथ उस कणिका के ऊर्जा और संवेग का सम्बन्ध व्यक्त करने-वाले सूत्रों में नियतांक h निविष्ट था (देखिए परिच्छेद ८, खण्ड २) और मैंने यह सिद्ध कर दिया कि इस उपाय से हम परमाणविक इलेक्ट्रानों की क्वांटमित गति के अस्तित्व का कारण समझ सकते हैं। विशेष विस्तार में प्रवेश न करके मैं केवल निम्नलिखित बात पर ही जोर देना चाहता हूँ। किसी बल-क्षेत्र के अभाव में कणिका की सरल रेखात्मक और अचर वेगवाली गति का सम्बन्ध मैंने एक ऐसी समतल एक-वर्ण तरंग के प्रचरण के साथ स्थापित कर दिया जो कणिका की गति की ही दिशा में प्रगामी हो जिसका आयाम अपरिवर्ती हो और जिसकी कला $x, y, z, t$ के एकघाती व्यंजक द्वारा व्यक्त हो सके। और चूँकि कणिका की ऊर्जा और संवेग का सम्बन्ध तरंग के आवृत्ति तथा तरंग-दैर्घ्य के साथ स्थापित किया गया था इसलिए मैंने कणिका की गति की अवस्था को तरंग की कला[4] से सम्बद्ध कर दिया। किन्तु अब प्रश्न यह था कि तरंग में इस तथ्य का सम्बन्ध किस बात से जोड़ा जाय कि आकाश में कणिका का स्थान पूर्णतः निश्चित होता है। इस समस्या का समाधान कठिन है क्योंकि जिस एक-वर्ण समतल तरंग का आयाम आकाश में सर्वत्र बराबर हो उसमें किसी ऐसे विशेष गुण-सम्पन्न बिन्दु की कल्पना नहीं हो सकती जिस पर कणिका प्रतिक्षण अवस्थित समझी जा सके। इस कठिनाई ने तथा अन्य कई आपेक्षिकीय आपत्तियों ने जिनका वर्णन यहाँ आवश्यक नहीं है मुझे यह विचारने

1 Academy of Sciences 2 Comptes Rendus 3 Thesis 4 *Phase*

के लिए विवग कर दिया कि एकवण समतर तरग की कला का ता काई भौतिक अथ हो सकता है किन्तु इस तरग के अपरिवर्ती आयाम का कोई अथ नही हो सकता, क्योंकि आकाश में आयाम का मान सवत्र बराबर होने से ता बिना प्रमाण के ही यह प्रत्यक्ष हो जायगा कि कणिका के पाये जाने की प्रायिकता आकाश के सभी बिन्दुओं के लिए बराबर है। उस समय मुझे इसमे तनिक भी सन्देह नही था कि प्रतिक्षण कणिका का कोई-न-कोई निश्चित स्थान तो होना ही है अत मेरे विचार से आयाम का अथ केवल प्रायिकता मूलक ही हो सकता है और कणिका का यथाथ स्थान आयाम के द्वारा निरूपित नही हो सकता। इसी लिए जिस तरग की मैंने कल्पना की थी उसका नाम मने कला-तरग[1] रखा था ताकि यह बात स्पष्ट हो जाय कि मेरे विचार मे वस्तुत इस तरग की कला का ही कुछ भौतिक अथ हो सकता है। नवम्बर १९२४ मे जब मने अपना अनुसधान प्रबन्ध निवन्ति किया था, तब से लेकर भौतिक विज्ञान की पाँचवीं साल्वे काग्रेस[2] की बठक के समय (अक्टूबर १९२७) तक स्वभावत ही मैं तरग-यान्त्रिकी के विकास की सभी उत्तरोत्तरवर्ती स्थितियो का अत्यन्त मनोनिवेशपूवक अध्ययन करता रहा था। किन्तु इस नवीन सिद्धान्त की वधानिक प्रक्रियाओं[3] के भौतिक अथ की तथा तरग-कणिकामय द्वैत के वास्तविक मम की समस्या मुझे बराबर उद्विग्न करती रही। जहा तक मुझे ज्ञात है इस द्वैत समस्या के तीन सभव समाधान प्रस्तुत किये गये है। जिस समाधान की तरफ श्राडिंगर का झुकाव सदव रहा वह तो यह था कि कणिकाओं के अस्तित्व का ही निषध करके द्वैत की वास्तविकता ही नष्ट कर दी जाय। तब केवल तरग का ही कुछ भौतिक अथ रह जायगा जो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त की तरग के सदश ही होगा। कुछ विशेष दशाओं में तरगो के प्रचरण से ही कणिकाओं-जसा रूप दिखाई देगा। किन्तु वह केवल आभास मात्र ही होगा। प्रारम्भ म तो श्राडिंगर ने अपने विचारो में सुनिश्चितता लाने के लिए कणिका की तुलना छोटी-सी तरग माला[4] से करना चाहा। किन्तु यह तुलना ठीक नही बठती क्योंकि तरग माला की प्रवत्ति ऐसी होती है कि उसकी लम्बाई निरन्तर शीघ्रतापूवक बढती जाती है। अत उसके द्वारा चिरस्थायी कणिका का निरूपण नहा हो सकता। यद्यपि ऐसा जान पडता है कि कुछ इसी प्रकार के निवचन में श्राडिंगर का विश्वास अब भी है किन्तु म तो इसे स्वीकार करने के योग्य नही समझता। और मेरा विश्वास तो यही है कि तरग-कणिकामय

1 Phase wave 2 5th Solway Congress 3 Formalism 4 Wave train

द्वैत को भौतिक तथ्य के रूप में मानना ही पड़ेगा। जिन दो अन्य समाधानों का मैंने ऊपर जिकर किया था वे दोनों ही इस द्वैत को वास्तविक मानते हैं, किन्तु दोनों के दृष्टिकोण सर्वथा भिन्न हैं।

इन समाधानों में से प्रथम में मेरा विश्वास १९२८ तक बना रहा। इसमें तरंग-कणिकामय द्वैत को भौतिक विज्ञान की सनातन धारणाओं से सुसंगत तथा मूर्तरूप देने के लिए यह धारणा बनायी गयी कि दीर्घ विस्तृत तरंग के बीच में उपस्थित किसी प्रकार की विचित्रता[1] का ही नाम कणिका है और इस विचित्रता के स्थान को ही उस कणिका का स्थान समझना चाहिए। यहाँ कठिनाई यह समझने में है कि प्रकाश के चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त में जैसे सतत तरंगों का उपयोग होता था, उसी प्रकार की विचित्रताहीन सतत तरंगों का उपयोग तरंग-यान्त्रिकी में क्या किया जाता है। मैं अभी थोड़ी देर में बताऊँगा कि इस दृष्टिकोण का विकास मैंने किस रूप में किया था।

तरंग-कणिकामय द्वैत का द्वितीय समाधान यह है कि कणिका की और सतत तरंग की धारणाओं का "वास्तविकता के दो परिपूरक पार्श्व"[2] ही मान लेना चाहिए—उसी अर्थ में जिसमें बोह्र ने इन शब्दों का व्यवहार किया था (देखिए परिच्छेद १०, खंड १ और ४)।

१९२४ में अपना अनुसंधान प्रबन्ध निवेदित करने से पहले मैं चिरप्रतिष्ठित भौतिकी की धारणाओं से पूर्णतः अभिरंजित था और मैंने अपने नवीन विचारों के निर्वचन को उन्हीं धारणाओं के ढाँचे में अर्थात् स्थान विन्यासों[3] और गतियों[4] के द्वारा घटनाओं के निरूपण के कार्तीय[5] ढाँचे में ढालना चाहा था। मुझे यह बात असन्दिग्ध जान पड़ती थी कि प्रतिक्षण कणिका का आकाश में कोई-न-कोई निश्चित स्थान और कुछ-न-कुछ निश्चित वेग अवश्य ही होता है और इस कारण काल के प्रवाह में उसका कोई-न-कोई निश्चित गमन-पथ भी अवश्य ही होता है। किन्तु साथ ही मेरा यह भी दृढ़ विश्वास था कि इसका सम्बन्ध किसी ऐसी आवर्त तथा तरंगमय घटना से भी अवश्य है जिसके आवृत्ति और तरंग-दैर्घ्य निर्धारित किये जा सकते हैं। अतः यह बिल्कुल स्वाभाविक था कि मेरे मन में इस कल्पना का जन्म होता कि दीर्घ विस्तृत-तरंगमय घटना के बीच में कणिका एक प्रकार की विचित्रता मात्र है और इन दोनों के सम्मेलन

1 Singularity 2 Complementary sides of reality 3 Configurations 4 Motions 5 Cartesian

से ही भौतिक वास्तविकता का निर्माण होता है। जिस तरगमय घटना के केन्द्र मे यह विचित्रता अवस्थित होती है उसी के परिणमन मे इस विचित्रता की गति का सम्बन्ध होता है। अत उस तरग को अपने प्रचरण में जिन परिस्थितियो का सामना करना पडेगा उन्ही सब पर उस विलक्षणता की गति भी अवलम्बित होगी। यही कारण है कि कणिका की गति चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी के नियमो का पालन नही करेगी क्योकि वह तो शुद्ध बिन्दु-यान्त्रिकी[1] है अर्थात उसमें कणिका पर केवल उन्ही बलो का प्रभाव पडता है जो उसके गमन पथ मे उस पर लगते रहते ह और उस गमन-पथ से बहुत दूर अवस्थित अवरोधो[2] का उसकी गति पर कुछ भी असर नही होता। किन्तु इसके विपरीत मेरी धारणा के अनुसार उस विचित्रता की गति पर उन सब अवरोधो का भी प्रभाव पडेगा जिनका प्रभाव उससे सलग्न तरग के प्रचरण पर पडता ह। फलत व्यतिकरण और विवतन की घटनाओ के अस्तित्व की भी व्याख्या हो जायगी।

किन्तु फिर भी कठिनाई यह समझने मे है कि तरग-यान्त्रिकी का विकास प्रचरण समीकरणो के विचित्रता विहीन सतत हलो[3] की ही सहायता से क्या हुआ है। ये ही हल साधारणत ग्रीक अक्षर ψ के द्वारा व्यक्त किये जाते ह। म पहले ही कह चुका हूँ कि जब मने एक वर्ण समतल ψ—तरग के प्रचरण का सम्बन्ध कणिका की सरल रेखात्मक अचर-वेगीय गति से जोडा था, तब मुझे इसी कठिनाई का सामना करना पडा था कि कणिका की आनुषगिक तरग के आवत्ति और तरग-दैर्घ्य जिस तरग कला के द्वारा निर्दिष्ट होते ह उसमे तो प्रत्यक्ष भौतिक वास्तविकता है, किन्तु मेरी दष्टि मे उस तरग का अपरिवर्ती आयाम कणिका के सभव स्थानो का केवल साख्यिकीय निरूपण ही हो सकता ह। यह एकक[4] और साख्यिकीय का मिश्रण ही मुझे व्यथित कर रहा था और इसी का स्पष्टीकरण मुझे अत्यन्त आवश्यक प्रतीत होता था।

इस विषय में मेरी जो टिप्पणिया १९२४ से १९२७ तक प्रकाशित हुई थी उन्हे देखने से पता लग जायगा कि किस प्रकार धीरे-धीरे मेरी विचार धारा उस सिद्धान्त की ओर झुकी जिसे मने उस समय 'द्वि-साधन सिद्धान्त' का नाम दिया था। मने इस सिद्धान्त का पूरा विवरण जूरनाल दे फिज़ीक[5] के जून १९२७ के अक (भाग ८ १९२७ पष्ठ २२५) मे प्रकाशित किया था और इस प्रश्न के सम्बन्ध में पूर्ण विवरण इस समय केवल इसी लेख में उपलब्ध है। इस लेख मे मने साहस करके इस अविभाज्य नियम का

1 Point mechanics 2 Obstacles 3 Continuous solutions 4 Individual 5 Journal de Physique

प्रतिपादन किया था कि तरंग-यांत्रिकी के समीकरणों के प्रत्येक सतत हल $\psi$ के साथ साथ किसी अनाल नियम के अनुसार एक द्वितीय हल $\mu$ भी विद्यमान रहता है जो विचित्रता-युक्त होता है और $\mu$ की तथा $\psi$ की कलाएँ समान होती हैं। सामान्यत यह विचित्रता (कणिका) अचल नहीं होती। दोनों ही हल $\psi$ तथा $\mu$ तरंग रूपी होते हैं और दोनों की ही कला x, y, z t के एक ही फलन के द्वारा निरूपित होती है किन्तु दोनों के आयाम सर्वथा भिन्न होते हैं क्योंकि $\mu$ के आयाम में तो विचित्रता विद्यमान होती है, किन्तु $\psi$ का आयाम सतत होता है। $\mu$ तथा $\psi$ दोनों के प्रचरण-समीकरण को एक ही मानकर और उसी से प्रारम्भ करके मैंने निम्नलिखित मूल प्रमेय को सिद्ध कर दिया। "काल के प्रवाह में $\mu$ की गतिशील विचित्रता ऐसे गमन-पथ पर चलती है जिसके प्रत्येक बिन्दु पर उस विचित्रता का वेग कला की प्रवणता[1] का अनुपाती होता है।" यह कहा जा सकता है कि इस प्रकार तरंग की केन्द्रगत विचित्रता पर तरंग प्रचरण की प्रतिक्रिया इस समस्या में निविष्ट हो जाती है। मैंने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि इस कणिकारूपी विचित्रता को एक क्वाटम विभव[2] के अधीन समझ लेने से यह प्रतिक्रिया व्यक्त की जा सकती है। वस्तुत यह क्वाटम विभव तरंग की स्वयं अपने ही पर होनेवाली प्रतिक्रिया का गणितीय व्यंजक[3] है। इस प्रकार मैंने प्रकाश के प्राचीन कणिका सिद्धान्त के समर्थकों की उस धारणा को स्वीकारकर लिया था जिसमें यह माना जाता था कि किसी अवरोध की कोर से प्रकाश का जो विवर्तन होता है उसमें इस अवरोध का किनारा प्रकाश की कणिका पर कुछ प्रतिक्रिया करता है और इसी कारण वह कणिका अपने सरल रेखात्मक पथ से विचलित हो जाती है।

और यदि गतिशील विचित्रतायुक्त $\mu$-तरंग ही कणिका की और उसके चारों ओर की तरंगमय घटना का निरूपण कर देती है तब फिर $\psi$-तरंग का क्या अर्थ था? मेरे लिए तो उसकी भौतिक सार्थकता कुछ भी नहीं थी क्योंकि वास्तविकता को तो $\mu$-तरंग ही व्यक्त करती है। किन्तु यह बताया जा चुका है कि $\psi$-तरंग की कला $\mu$-तरंग की कला से अभिन्न होती है और कणिकारूपी विचित्रता सदा इस कला की प्रवणता की दिशा में ही गमन करती है। अत कणिका के संभव गमनपथ $\psi$ के सम कलीय पृष्ठों[4] पर अभिलम्बित[5] वक्रों के संपाती[6] होंगे और तब मैंने सरलतापूर्वक यह भी

1 Gradient of phase 2 Quantum potential 3 Expression 4 Surfaces of equal phase 5 Orthogonal 6 Coincident

प्रतिपादन किया था कि तरंग-यान्त्रिकी के समीकरणों के प्रत्येक सतत हल $\psi$ के साथ ही-साथ किसी अज्ञात नियम के अनुसार एक द्वितीय हल $\mu$ भी विद्यमान रहता है जो विचित्रता-युक्त होता है और $\mu$ की तथा $\psi$ की कलाएँ समान होती हैं। सामान्यत यह विचित्रता (कणिका) अचल नहीं होती। दोनों ही हल $\psi$ तथा $\mu$ तरंग रूपी होते हैं और दोनों की ही कला x y, z, t के एक ही फलन के द्वारा निरूपित होती है किन्तु दोनों के आयाम सर्वथा भिन्न होते हैं क्योंकि $\mu$ के आयाम में तो विचित्रता विद्यमान होती है, किन्तु $\psi$ का आयाम सतत होता है। $\mu$ तथा $\psi$ दोनों के प्रचरण-समीकरण को एक ही मानकर और उसी से प्रारम्भ करके मैंने निम्नलिखित मूल प्रमेय को सिद्ध कर दिया। "काल के प्रवाह में $\mu$ की गतिशील विचित्रता ऐसे गमन पथ पर चलती है जिसके प्रत्येक बिंदु पर उस विचित्रता का वेग कला की प्रवणता[1] का अनुपाती होता है।' यह कहा जा सकता है कि इस प्रकार तरंग की केन्द्रगत विचित्रता पर तरंग प्रचरण की प्रतिक्रिया इस समस्या में निविष्ट हो जाती है। मैंने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि इस कणिकारूपी विचित्रता का एक क्वाटम विभव[2] के अधीन समन लेने मे यह प्रतिक्रिया व्यक्त की जा सकती है। वस्तुत यह क्वाटम विभव तरंग का स्वय अपने ही पर होनेवाली प्रतिक्रिया का गणितीय व्यजक[3] है। इस प्रकार मैंने प्रकाश के प्राचीन कणिका सिद्धान्त के समर्थकों की उस धारणा को स्वीकार कर लिया था जिसमें यह माना जाता था कि किसी अवरोध की कोर से प्रकाश का जो विवर्तन होता है उसमें इस अवरोध का किनारा प्रकाश की कणिका पर कुछ प्रतिक्रिया करता है और इसी कारण वह कणिका अपने सरल रेखात्मक पथ से विचलित हो जाती है।

और यदि गतिशील विचित्रतायुक्त $\mu$–तरंग ही कणिका का और उसके चारों ओर की तरंगमय घटना का निरूपण कर देती है तब फिर $\psi$–तरंग का क्या अर्थ था? मेरे लिए तो उसकी भौतिक सार्थकता कुछ भी नहीं थी क्योंकि वास्तविकता को तो $\mu$–तरंग ही व्यक्त करती है। किन्तु यह बताया जा चुका है कि $\psi$–तरंग का कला $\mu$–तरंग की कला से अभिन्न होती है और कणिकारूपी विचित्रता सदा इस कला की प्रवणता की दिशा में ही गमन करती है। अत कणिका के सभव गमनपथ $\psi$ के सम कलीय पृष्ठों[4] पर अभिलम्बित[5] वक्रों के सपाती[6] होंगे और तब मैंने सरलतापूर्वक यह भा

1 Gradient of phase 2 Quantum potential 3 Expression 4 Surfaces of equal phase 5 Orthogonal 6 Coincident

प्रमाणित कर दिया कि इसी बात के आधार पर हमें यह मानना पडेगा कि कणिका को किसी बिन्दु पर पाने की प्रायिकता $\psi$–तरग के आयाम के वर्ग की अथवा उस तरग की तीव्रता की अनुपाती होती है।

तरग-यान्त्रिकी के इसी गूढ और विचित्र निवचन का मैंने १९२७ मे प्रतिपादन किया था। किन्तु मुझे यह समझने में भी देर नही लगी कि उसका तर्कसंगत प्रमाणित करने में अत्यन्त विकट गणितीय कठिनाइया उपस्थित होगी। क्योकि पहले तो यही प्रमाणित करना आवश्यक था कि तरग-यान्त्रिकी मे जिस सुनिर्दिष्ट समस्या के सीमान्त प्रतिबन्ध[1] ज्ञात हो और जिसका $\psi$–जाति का हल भी ज्ञात हो उसका दूसरा भी एक हल होता है जो गतिशील विचित्रतायुक्त और $\mu$–जाति का होता है। यह भी आवश्यक था कि व्यतिकरण की घटनाओ के सिद्धान्त का पुनर्गठन ऐसा किया जाय जिसमे केवल विचित्रतायुक्त $\mu$-तरग का ही उपयोग हो क्योकि उसी मे भौतिक वास्तविकता होती है और सतत तरग का सहारा बिलकुल भी न लिया जाय क्योकि उसे अब हम काल्पनिक समझते है। और कणिका निकायो के लिए श्रोडिंगर ने विन्यासाकाश[2] के ढाचे में जिस तरग-यान्त्रिकी का निर्माण किया था उसका निवचन भी अब $\mu$-तरगो के द्वारा ही करना जरूरी था। किन्तु मुझमे इतनी क्षमता नही थी कि ऐसी कठिन गणितीय समस्याओ की मीमासा कर लेता जिनके लिए विचित्रतायुक्त हलो का दु साध्य अध्ययन आवश्यक था।

अब मैने अपने १९२७ के विचारो का पुन परीक्षण किया है और इससे मै $\mu$-तरग की परिभाषा में कुछ परिवर्तन कर सका हू। १९२७ मे तो मैंने इस तरग-यान्त्रिकी की $\psi$–तरग के लिए स्वीकृत रैखिक समीकरणो का ही विचित्रतायुक्त हल समझा था। किन्तु कई कारणो से विशेषकर व्यापक आपेक्षिकतावाद से तुलना करने पर (जिसका जिक्र मैं आगे करूँगा) मेरे मन में यह विचार उत्पन्न हुआ कि सभवत $\mu$–तरग के यथार्थ प्रचरण-समीकरण आइन्स्टाइन के गुरुत्वाकर्षण सिद्धान्त के समीकरणो के ही समान अरैखिक[3] हो किन्तु जब $\mu$ का मान पर्याप्त रूप से छोटा हो तब वे तरग-यान्त्रिकी के रैखिक समीकरणो का सन्निकटित रूप ग्रहण कर लेते हो। यदि यह दृष्टिकोण सही हो तो यह भी माना जा सकता है कि $\mu$–तरग में कोई गतिशील विचित्रता (इस शब्द के शुद्ध अर्थ में) होती ही नही। उसमें केवल एक अत्यन्त छोटा-सा (निसन्देह ही $10^{-13}$ सम० की कोटि के मान का) विचित्रतायुक्त गतिशील प्रदेश होता है जिसके

1 Boundary Conditions 2 Space of configuration 3 Non linear

भीतर $\mu$ का मान इतना बड़ा रहता है कि वहाँ रश्मिक सन्निकटन मान्य नहीं समझा जा सकता, किन्तु इन छोटे-से प्रदेश से बाहर यह सन्निकटन तब भी मान्य ही रहता है। दुर्भाग्यवश, दृष्टिकोण का यह परिवर्तन भी उन गणितीय समस्याओं का समाधान करने में सहायक नहीं हुआ जो अब भी हमारे सामने विद्यमान थीं क्योंकि यदि रश्मिक समीकरणों के विचित्रतायुक्त हलों का साधन बहुधा कठिन होता है तो अरश्मिक समीकरणों के हलों का साधन तो और भी अधिक कठिन होता है।

अब फिर जरा १९२७ पर लौट आइए। उस बसन्त में लारेन्ट्ज[1] ने मुझसे कहा कि अगले अक्टूबर में ब्रसेल्स में होनेवाली भौतिक विज्ञान की पाँचवीं साल्वे काँग्रेस के लिए तरंग-यान्त्रिकी के विषय में एक रिपोर्ट तैयार कर दो। तब यह देखकर कि द्वि-साधन[2] के विषय में मेरे विचार गणितीय प्रकृष्टता[3] अथवा दृढ़ नियमितता की दृष्टि से यथेष्ट सन्तोषजनक नहीं थे और उनको स्पष्टतः व्यक्त करने में मुझे अनेक कठिनाइयों का सामना करना पड़ेगा, मैंने उस सरलतर दृष्टिकोण का आश्रय लेने का निश्चय किया जिसकी सम्भावना की ओर मैंने अपने 'जूरनाल-दे फिजीक' वाले लेख के अन्त में इंगित किया था। उस समय मेरी धारणा यह थी कि $\psi$ तथा $\mu$ जाति के हलों की समान कला की प्रवणता के द्वारा ही कणिका की गति निर्धारित होती है और समस्त घटना इस प्रकार घटती है मानो सतत $\psi$–तरंग ही उस कणिका का पथ प्रदर्शन[4] करती है। इसलिए मेरे विचार में यह आया कि इस समस्या के लिए निम्नलिखित दृष्टिकोण भी उपयुक्त हो सकता है। 'कणिका का अस्तित्व एक स्वतन्त्र सत्ता के रूप में स्वीकार कर लो और यह मान लो कि उसका पथ प्रदर्शन $\psi$–तरंग इस सूत्र के अनुसार करती है कि कणिका का वेग सदा $\psi$–का कला की प्रवणता का अनुपाती रहता है।' समस्या के इस प्रकार प्रस्तुत करने की विधि को मैंने 'नाविक-तरंग सिद्धान्त'[5] का अर्थ-बोधक नाम दे दिया था और इसी का मैंने अपनी रिपोर्ट में विस्तृत विवेचन किया था। यह पाँचवीं साल्वे काँग्रेस के संक्षिप्त विवरण में प्रकाशित हुआ था। उस समय मैं यह नहीं समझ सका कि इस प्रकार के तर्क का सहारा लेकर मैंने अपने ही पक्ष को बहुत निर्बल बना दिया है। वस्तुतः यद्यपि द्वि-साधन की परिकल्पना का गणितीय समर्थन कठिन है तथापि यदि सफलता मिल जाय तो वह द्रव्य की संरचना का तथा कणिका-तरंग मय द्वैत का गंभीर समीक्षण प्रस्तुत करने में समर्थ हो सकेगा और, जैसा कि हम देखेंगे सम्भवतः उसके द्वारा क्वांटम धारणाओं और आपेक्षिकीय

1 Lorentz 2 Double Solution 3 Rigour 4 Guide 5 Pilot wave theory

हैं। और गणितीय कठिनाइयों के कारण यह भी साहस नहीं हुआ कि पुन द्वि-साधन का अनुसरण करूँ। अत निराश होकर मैं भी बोह्र और हाइज़नबर्ग के शुद्ध प्रायिकता मूलक निवचन का पक्षपाती बन गया।

पच्चीस वर्षों से लगभग सभी भौतिकज्ञ बोह्र और हाइज़नबर्ग के इस शुद्ध प्रायिकता मूलक निवचन के ही पक्ष में हैं। किन्तु आइन्स्टाइन और श्रोडिंगर के समान कुछ विख्यात भौतिकज्ञ इसके स्मरणीय विरोधी भी हैं। ये इसे स्वीकार करने के लिए कभी राजी नहीं हुए और बराबर उसके विरुद्ध प्रबल आपत्तियां उठाते रहे हैं। १९२७ की सॉलवे कांग्रेस में आइन्स्टाइन ने निम्नलिखित आपत्ति उठायी थी। मान लो कि एक चपटे परदे में एक छोटा सा छिद्र है और इस पर कोई कणिका अपनी आनुषंगिक तरंग के साथ अभिलम्बत आपतित होती है। $\psi$– तरंग तो छेद में से विवर्तित होकर परदे के दूसरी ओर अपसारी[1] गोलीय तरंग का रूप प्राप्त कर लेगी। यदि परदे के पीछे एक अर्धगोलाकार फिल्म रख दी जाय तो इस अर्ध-गोल के किसी भी बिन्दु प पर कणिका की उपस्थिति फोटोग्राफिक क्रिया द्वारा अंकित हो जायगी। इस बात से सभी सहमत हैं कि तरंग-यान्त्रिकी के नियमानुसार प पर कणिका की उपस्थिति की प्रायिकता $\psi$–तरंग के आयाम के वर्ग द्वारा निर्धारित होती है। यदि प्रत्येक क्षण पर उस कणिका की उपस्थिति किसी न किसी बिन्दु पर वास्तव में रहती हो तो (अव्यक्त चरों[2] के द्वारा) हम उसका गमन पथ अवश्य ही निर्धारित कर सकेंगे। अत हम यह आसानी से समझ सकते हैं कि उस कणिका का गमन-पथ अज्ञात होने का परिणाम यह होगा कि हम केवल इतना ही बता सकेंगे कि फिल्म के किसी एक बिन्दु में से गमन-पथ के गुजरने की प्रायिकता कितनी है। किन्तु प पर कणिका की जो फोटोग्राफिक क्रिया होती है वह यह बात प्रमाणित करती है कि उस कणिका का गमन-पथ प में से अवश्य गुजरा था। और इस सूचना के मिलते ही फिल्म के अन्य बिन्दुओं में से गमन-पथ के गुजरने की प्रायिकता शून्य हो जायगी। इस घटना की यही सीधी-सादी व्याख्या है। किन्तु जो व्याख्या शुद्ध प्रायिकता-मूलक निवचन द्वारा प्राप्त होगी उससे यह सर्वथा भिन्न है। उस निवचन के अनुसार फोटोग्राफिक अंकन से पहले कणिका परदे के पीछे के प्रदेश के सभी बिन्दुओं पर सभाव्य रूप में विद्यमान[3] रहती है और उसकी उपस्थिति की प्रायिकता $\psi$–तरंग के आयाम के वर्ग के बराबर होती है। प पर फोटोग्राफिक अंकन होते ही कणिका का स्थान प पर निश्चित हो जाता है या यों कहना चाहिए कि वह प

1 Divergent 2 Variables 3 Potentially present

र संघनित[1] हो जाती है और उसी क्षण फिल्म के किसी भी अन्य बिंदु पर कणिका की उपस्थिति की प्रायिकता घटकर शून्य हो जाती है। अब आइन्स्टाइन का कहना यह था कि इस प्रकार का निर्वचन आकाश और काल सम्बन्धी हमारी समस्त धारणाओं से (उनके आपेक्षिकीय विश्व-सारणीय रूप में भी) तथा आकाश में भौतिक क्रियाओं के प्रचरण-वेग के परिमित होने की धारणा से भी असंगत है। यह कह देना काफी नहीं है कि हमारे स्थूल स्तरीय अनुभव से निर्मित आकाश और काल सम्बन्धी धारणाएँ परमाणविक स्तर पर सही नहीं होंगी। वास्तव में फिल्म का विस्तार तो स्थूलस्तरीय ही है (उसका क्षेत्रफल एक वर्ग मीटर भी हो सकता है)। अतः इससे स्थूल मापदंडीय स्तर पर भी तो हमारी आकाश और काल सम्बन्धी धारणाएँ अपर्याप्त प्रमाणित हो जायेंगी। किंतु इस बात में विश्वास करना तो वास्तव में कठिन मालूम पड़ता है। आइन्स्टाइन की इस आपत्ति का जहाँ तक मुझे मालूम है किसी ने भी संतोषजनक उत्तर नहीं दिया है। इसके अतिरिक्त श्राडिंगर ने भी कुछ और बातें प्रस्तुत की हैं और स्वयं आइन्स्टाइन ने भी एक और आपत्ति पारस्परिक क्रिया[2] के सम्बन्ध में उठायी है। इन सब तर्कों का विवरण यहाँ नहीं दिया जा सकता। मैं केवल इतना ही कहूँगा कि आइन्स्टाइन की १९२७ वाली आपत्ति की ही तरह इनसे भी विरोधाभासी[3] परिणाम निकलते हैं और आकाश (दिक्) और काल सम्बन्धी हमारी पूर्ववर्ती धारणाओं की सत्यता में स्थूल स्तरीय क्षेत्र में भी सन्देह होने लगता है।

जब कुछ महीने हुए बोह्म[4] का वह लेख प्रकाशित हुआ जिसका उल्लेख मैं इस खंड के प्रारम्भ में कर चुका हूँ तब इस समस्या की यही स्थिति थी और पिछले पच्चीस वर्षों में इसमें प्रायः कुछ भी परिवर्तन नहीं हुआ है। इस लेख में कोई भी बात तत्त्वतः नयी नहीं थी क्योंकि उन्होंने केवल उसी नाविक-तरंग सिद्धान्त का पुनः प्रतिपादन किया था जिसको मैं साल्वे काँग्रेस में पहले ही प्रस्तुत कर चुका था और जिसमें द्वि साधन की परिकल्पनावाली विचित्रता-युक्त $\mu$–तरंग के स्थान में प्रायिकतामूल्क $\psi$-तरंग का उपयोग होने के कारण अनेक ऐसी कठिनाइयाँ उपस्थित होती थीं जो मुझे दुर्लघ्य जान पड़ती थीं। फिर भी इन प्रश्नों की ओर पुनः ध्यान आकर्षित करने के अतिरिक्त उन्हें इस बात का भी श्रेय है कि उन्होंने इस सम्बन्ध में कई अत्यन्त रोचक बातें लिखी थीं और विशेषकर उन्होंने नापने की प्रक्रियाओं का नाविक-तरंग के दृष्टिकोण से ऐसा विश्लेषण किया था जिससे उन आपत्तियों का निराकरण हो जाने की सम्भावना दिखाई

1 Condensed 2 Interaction 3 Paradoxical 4 Bohm

देने लगी थी जो पॉली ने १९२७ में मेरी धारणाओं के विरुद्ध प्रस्तुत की थी। मझे श्री वाह्य के लेख का तथा श्री विजियर[1] के विचारों का पता लगते ही मने इस विषय सम्बन्धी अपने विचारों का एक संक्षिप्त विवरण दो टिप्पणियों के रूप में तयार किया जो ऐकेडमी आफ साइन्सेज के 'कात रादी'[2] के सितम्बर १९५१ और अक्तूबर १९५१ के अंकों में प्रकाशित हुई थीं। विजियर के विचारों के विषय में तो मैं बाद में लिखूंगा, किन्तु जिन बातों की ओर मेरा ध्यान अब आकर्षित हुआ था उनमें से एक निम्नलिखित बात भी थी। "न्यूमान[3] के तर्क का दावा यह है कि तरंग-यान्त्रिकी के प्रायिकता-मूलक वितरणों[4] का निर्वचन गुप्त प्राचलों[5] के कार्यकारण[6] सिद्धान्त के द्वारा किसी प्रकार भी संभव नहीं है। किन्तु यद्यपि यह नहीं समझा जा सकता कि द्वि-साधन सिद्धान्त अथवा नाविक-तरंग सिद्धान्त प्रमाणित हो गये हैं तथापि उन सिद्धान्तों का अस्तित्व तो है ही। अतः यह समझ में नहीं आता कि न्यूमान के प्रमेय के साथ इन दोनों सिद्धान्तों के अस्तित्व का सामञ्जस्य कैसे हो सकता है।' इस उक्ति के देखने पर मैंने उस प्रमेय की उपपत्ति का पुनः समीक्षण किया और अब मेरी समझ में यह आ गया है कि यह उपपत्ति मुख्यतः निम्नलिखित अविमान्यता पर अवलम्बित है—"तरंग-यान्त्रिकी में जितने भी प्रायिकतामूलक वितरण संभव माने जाते हैं उन सबका भौतिक अस्तित्व उस प्रयोग को करने से पहले भी विद्यमान रहता है जिस प्रयोग के द्वारा उनमें से केवल एक ही वितरण वास्तविकता प्राप्त कर लेता है।' अतः कणिका के स्थान और गति की अवस्था के सम्बन्ध में उस तरंग के ज्ञान से जिन प्रायिकता मूलक वितरणों का निगमन होता है वे सब उस स्थान और गति की अवस्था का यथार्थतः नाप करनेवाले प्रयोगों से पहले ही विद्यमान रहते हैं। इसके विपरीत यह भी आसानी से मान लिया जा सकता है कि इन प्रायिकता-मूलक वितरणों की अथवा कम से-कम इनमें से कुछ की सृष्टि तो नापने की क्रिया के द्वारा भी हो सकती है और उनका अस्तित्व केवल नाप की क्रिया समाप्त हो चुकने के बाद में, परन्तु नाप के परिणाम का ज्ञान प्राप्त होने से पहले तक ही रहता है। आजकल समस्त क्वांटम भौतिकज्ञ नापने की क्रिया का जो परिणाम अनिवार्य मानते हैं उससे भी यह बात सुसंगत है। द्वि-साधन सिद्धान्त में और नाविक-तरंग सिद्धान्त में (जिनमें इस दृष्टि से कोई भेद नहीं है) यह माना जाता है कि नततः-तरंग के आयाम व वर्ग द्वारा निर्णीत प्रायिकता मूलक स्थान-सापेक्ष वितरण तो नाप से पहले भी विद्यमान रहता है किन्तु अन्य प्रायिकतामूलक वितरण (यथा सवेग-सम्बन्धी

1 Vigier 2 Comptes Rendus 3 Von Neumann 4 Distributions
5 Hidden parameters 6 Causal

वितरण) नापने की क्रिया से उत्पन्न होते हैं। और जिस अधिमान्यता पर ल्यूमान का तर्क आश्रित है वह पहले (स्थान-मापन) वितरण के लिए अनुप्रयोज्य ही नहीं है। फलतः इस तर्क के परिणाम का अस्तित्व ही नहीं रहता। शुद्ध प्रायिकता मूल्य निवचन समस्त प्रायिकतामूलक वितरणों को बिल्कुल एक-सा मानता है। यही कारण था कि ल्यूमान ने इस समानता को अनिवार्यता के रूप में स्थापित कर लिया था। किन्तु ऐसा करने से उन्होंने केवल यही प्रमाणित किया है कि यदि हम शुद्ध प्रायिकतामूलक निवचन की मूल धारणाओं को मान लें तो हमें उस निवचन को स्वीकार करने के लिए भी बाध्य होना पड़ेगा। किन्तु यह तो एक प्रकार का दूषित चक्र (विशस सर्किल) है और अब ल्यूमान के प्रमेय में वह महत्त्व नहीं रह गया है जो गत कई वर्षों तक मैं भी मानता रहा था।

श्री बाप्प के इस प्रारम्भिक कार्य के बाद आरी प्वानकरे इन्स्टीट्यूट[1] में काम करने वाले श्री विजियर के मन में यह अत्यन्त रोचक विचार उत्पन्न हुआ कि द्वि-साधक सिद्धान्त में और आइन्स्टाइन द्वारा प्रमाणित एक प्रमेय में आनुरूप्य स्थापित करना चाहिए। (आइन्स्टाइन ने यह प्रमेय १९२७ में मेरे अनुसंधानों से सर्वथा स्वतन्त्र रूप में प्रमाणित किया था क्योंकि उस समय मैं तो क्वाटमों पर काम कर रहा था और व्यापक आपेक्षिकता की ओर मेरा ध्यान नहीं था किन्तु आइन्स्टाइन का मनोयोग व्यापक आपेक्षिकता पर केन्द्रित था और वे क्वाटमों का अध्ययन नहीं कर रहे थे।) इस आनुरूप्य की चित्ताकर्षकता को हृदयगम करने के लिए यह समझना आवश्यक है कि इस समय सैद्धान्तिक भौतिकज्ञ दो असमेय[2] दलों में विभक्त हैं। आइन्स्टाइन और उनके शिष्यों का एक छोटा-सा दल तो व्यापक आपेक्षिकता की धारणाओं के विस्तारण के द्वारा आपेक्षिकीय विचारधारा में प्रगति करना चाहते हैं किन्तु सद्धान्तिकों का विपुल बहुमत पारमाणविक समस्याओं की रोचकता से आकृष्ट होकर क्वाटम भौतिकी की प्रगति के कार्य को आगे बढ़ाने में लगा हुआ है और व्यापक आपेक्षिकता की धारणाओं की ओर उसका ध्यान बिल्कुल नहीं है। इसमें सन्देह नहीं कि तरंग-यान्त्रिकी ने विशिष्ट आपेक्षिकता की धारणाओं को ग्रहण करके उन्हें समाविष्ट करने का प्रयत्न किया है। डिरक[3] के इलेक्ट्रान नतन[4] के सिद्धांत में और उससे भी बाद के टोमोनागा,[5]

1 Henry Poincare Institute 2 Irreconcilable 3 Dirac 4 Electron spin 5 Tomonaga

दिगर[1], फेनमान[2] और डाइसन[3] के उत्कृष्ट सिद्धान्तों में आपेक्षिकीय सहचरण[4] के धारणाओं का उपयोग किया गया है।*

इन सबमें सदैव विशिष्ट आपेक्षिकता का ही उपयोग हुआ है। किन्तु हमें विदित है कि अकेली विशिष्ट आपेक्षिकता पर्याप्त नहीं है और उसका व्यापकीकरण आवश्यक है। यही १९१६ में आइन्स्टाइन ने किया था। अतः यह बड़े आश्चर्य की बात है कि आधुनिक भौतिक विज्ञान के दो महान सिद्धान्तों में—व्यापक आपेक्षिकता के सिद्धान्त में और क्वाण्टम सिद्धान्त में—कोई संपर्क नहीं है और वे एक दूसरे की उपेक्षा करते हैं। किसी-न-किसी को इन दोनों का संश्लेषण करने में किसी दिन सफलता मिल जाना अत्यन्त आवश्यक है।

व्यापक आपेक्षिकता के सिद्धान्त की प्रमुख रूपरेखा का निर्माण कर लेने के पश्चात आइन्स्टाइन ऐसी युक्ति की खोज में लग गये जिससे गुरुत्वीय बल-क्षेत्र की विचित्रताओं के द्वारा ही द्रव्य की परमाणविक संरचना का निरूपण सम्भव हो जाय। उसी समय वे निम्नलिखित प्रश्न के अध्ययन में भी व्यस्त थे। व्यापक आपेक्षिकता सिद्धान्त में यह मान लिया जाता है कि वक्र दिक्-काल[5] में किसी वस्तु की गति उसी दिक्-काल की अल्पान्तरी रेखा[6] के द्वारा निरूपित होती है। इसी अधिमान्यता की सहायता से आइन्स्टाइन ने ग्रहों की सूर्य-परिक्रमा के सूत्रों का पुनर्निगमन करने में सफलता प्राप्त की थी। इसके अतिरिक्त इसी के द्वारा बुध[7] के परिसौर बिन्दु[8] के दीर्घकालिक[9] प्रगमन[10] की व्याख्या हो सकी थी। किन्तु यदि हमें यह अभीष्ट हो कि गुरुत्वीय क्षेत्र की विचित्रताओं के अस्तित्व के द्वारा द्रव्य की मूल कणिकाओं का निरूपण करें तो केवल गुरुत्व-क्षेत्रीय समीकरणों को ही लेकर यह प्रमाणित करना सम्भव होना चाहिए कि ये विचित्रताएँ दिक्-काल की अल्पान्तरी रेखाओं पर ही गमन करती हैं और इस बात को स्वतन्त्र अधिमान्यता के रूप में निविष्ट करने की आवश्यकता नहीं होनी चाहिए। दीर्घकाल तक आइन्स्टाइन इसी प्रश्न पर विचार करते रहे थे और १९२७ में ग्रोमर[11] के सहयोग से

1 Schwinger 2 Feynmann 3 Dyson 4 Relativistic Co variance

* इन सिद्धान्तों का उद्देश्य कण निकायों के सर्वांगपूर्ण तथा प्रकृष्ट आपेक्षिकीय सिद्धान्त का निर्माण है जो तरंग-यान्त्रिकी को निकायों के लिए उपयुक्त बनाने की समस्या को हल करने के लिए आवश्यक है। इसका विवेचन परिच्छेद १२ के खण्ड १ के अन्त में किया गया है।

5 Curved space time 6 Geodesic 7 Mercury 8 Perihelion 9 Secular 10 Advance 11 Grommer

इच्छानुकूल प्रमय रा प्रमाणित रूप म व गफ भी हा गय थ। याद में इस प्रमाण का स्वय आइन्स्टाइन और उनके सहयोगी इनफ ड' तथा हाफमान' न यह दिखाया में प्रदर्शित किया। इसमें नाति भी सन्देह नहीं कि आइन्स्टाइन के प्रमय के प्रमाण में और मर १९२७ में दिये हुए उस प्रमाण म कुछ समानता ह जिसके द्वारा मा यह सिद्ध किया था कि कणिका जिस ψ—तरग की विचित्रता हा उसी तरग की गति की प्रवणता की दिशा में ही उस कणिका का गम हाना चाहिए। विचित्र दिक्कालीय मापतत्र' की परिभाषा म ही ψ—तरग पद्धन का निविष्ट करके इस समा नता का अधिक परिच्छिन्न करन क प्रयत्न म व्यस्त हैं। यद्यपि अभी तक इन प्रयासा क फल सभवत पूर्ण रूप म विश्वसनीय नहीं माने जा सकत तब भी यह निश्चित ह कि जिस दिशा में व अग्रसर हो रहे ह वह अत्यन्त रोचक ह क्योकि यह सभव ह कि इसी माग स व्यापक आपक्षिकता तथा तरग-यान्त्रिकी के सम्बन्ध में सफलता मिल जाय। यदि द्रव्य की कणिकाओ का (और उसी प्रकार फोटानो का) दिक्कालीय मापतत्र की विचित्रताओ द्वारा निरूपित किया जाय और यह मान लिया जाय कि यह मापतत्र एक तरगित क्षेत्र द्वारा परिवेष्टित हैं और कणिकाएँ स्वय भी उसी क्षेत्र की अग ह तथा उस क्षत्र की परिभाषा स ही इनका व नियतात्व का प्रादुर्भाव हा जाना ह ता कणिकासम्बन्धी आइस्टाइन की धारणाओ तथा मेरे द्वि-साधन सिद्धान्त की धारणाओ का सम्मेलन करने में सफलता मिल सकती ह। किन्तु क्या आपक्षिकता तथा क्वाटमा का यह सुदर सश्लेषण सचमुच सभव हो सकेगा ? यह ता भविष्य ही बतायेगा।

म इस बात का नितान्त आवश्यक मानता हूँ कि ऐसा सश्लेषण हो जाने पर तरग यान्त्रिकी के जिस प्रचलित निवचन में पारमाणविक निकाय का क्वाटमीकरण तथा हाइजनबग की अनिश्चितताएँ और सामान्यत सूक्ष्म-स्तरीय भौतिक मापा के परिणामा का प्रागुक्ति की असभवता भी सम्मिलित ह उसके द्वारा अब तक जितने परिणाम प्राप्त हुए ह और जितनी भी परिकलन की विधिया का उसमें उपयाग किया जाता है उन सबकी व्युत्पत्ति फिर से करनी पडेगी और उनकी तक-सगतता को फिर स प्रमाणित करना पडेगा। किन्तु तब शायद आप यह कहे कि यदि प्रचलित निवचन में सभी प्रेक्ष-णीय घटनाओ की व्याख्या करने की सामर्थ्य है तब उस बदलने की तथा द्वि-साधन और विचित्रतायुक्त हल आदि की निरथक जटिलताओ को प्रविष्ट करने की क्या आवश्य-कता ह ? इसमे ता नवीन विकट बाधाओ के प्रादुर्भाव की ही आशका है। इसका

1 Infeld 2 Hoffmann 3 Space time Metric

उत्तर यह है कि सबसे पहले तो आकाश और काल की सत्यता सम्बन्धी सुस्पष्ट कार्तीय[1] धारणाओं को पुन स्वीकार करने से बहुतों को मानसिक सतुष्टि प्राप्त हो जायगी और हम न केवल आइन्स्टाइन तथा श्रोडिंगर की आपत्तियों का निराकरण कर सकेंगे, किन्तु हमें आजकल के निवचन के कई विलक्षण परिणामों से भी छुटकारा मिल जायगा। वास्तव में इस निवचन में भौतिक घटनाओं का निरूपण केवल सतत ψ–फलन के द्वारा करने का प्रयत्न किया गया है और इस फलन का प्रकृत रूप निश्चित रूप से माध्यिकीय है। अत इसका तर्क-सगत परिणाम एक प्रकार का "व्यक्तिनिष्ठवाद"[2] है जो दार्शनिक अर्थ में "प्रत्ययवाद"[3] के ही सदृश है और जो प्रेक्षण से स्वतन्त्र किसी भौतिक वास्तविकता के अस्तित्व को ही नहीं मानता। किन्तु भौतिकज्ञ का अन्तर्मन वास्तववादी[4] होता है और इस बात के कई बहुत प्रबल कारण भी हैं। व्यक्तिनिष्ठ निवचन से उसके मन में अशांति की भावना उत्पन्न होती है और मेरा विश्वास है कि अन्त में इस भावना से मुक्ति पाने पर ही वह सुखी हो सकेगा।

किन्तु बोह्म के मतानुसार यह भी तो सभव है कि यदि वर्तमान निवचन परमाणविक मापदड (१०⁻⁸ से १०⁻¹² सम० तक) की घटनाओं के लिए उपयुक्त हो तो भी वह नाभिकीय मापदड (१०⁻¹³ सम०) के लिए उपयुक्त न हो क्योंकि वहाँ शायद विभिन्न कणिकाओं के विचित्र प्रदेश[5] परस्पर अतिव्याप्त[6] हो जायँ और एक दूसरे से पृथक न समझे जा सकें। यह तो स्वीकार करना ही पड़ता है कि इस समय नाभिकीय घटनाओं का सिद्धान्त—विशेषकर नाभिक में स्थायित्व उत्पन्न करनेवाले बलों के सम्बन्ध में—बहुत ही असन्तोषजनक अवस्था में है। इसके अतिरिक्त इस समय द्रव्य-कणिकाओं के सिद्धान्त की सख्त जरूरत इसलिए भी है कि आजकल प्राय प्रतिमास एक नवीन प्रकार के मेसान[7] * का आविष्कार हो रहा है। ऐसा प्रतीत होता है कि

1 Cartesian 2 Subjectivism 3 Idealism 4 Realist 5 Singular zones 6 Overlap 7 Meson

* मेसान की धारणा सैद्धान्तिक कारणों से युकावा (Yukawa) ने १९३५ में प्रस्तुत की थी और उसका अस्तित्व प्रयोगशाला के प्रयोगों से १९४८ में प्रमाणित हुआ था। किन्तु आज पाँच प्रकार के मेसानों का अस्तित्व तो निश्चित रूप से प्रमाणित हो गया है। प्साइ मेसान (ψ) +म्यू मेसान (+μ) —म्यू मेसान (—μ) +पाइ मेसान (+π) —पाई मेसान (—π) तथा अनाविष्ट पाई-मेसान (π)। और चार अन्य प्रकार के मेसानों का अस्तित्व भी सभाव्य समझा जाता है। +कापा-मेसान (+κ) —कापा मेसान (—κ) +टा मेसान (+τ) —टा-मेसान (—τ)। द्रव्य की इन तथा अन्य मौलिक कणिकाओं के गुणों के विवेचन के लिए जनवरी १९५२ के साइंटिफिक अमेरिकन में पृष्ठ २२ २७ पर मार्शक (R E Marshak) का लेख देखिए। (अंग्रेजी अनुवादक)

इस समय भौतिक विज्ञान के लिए आवश्यकता यह है कि शीघ्र ही इन कणिकाओं की सरचना के स्वरूप का कुछ निणय हो जाय और विशेष कर लारेंटज के पुराने सिद्धान्त में जैसी इलैक्ट्रान की त्रिज्या[1] की धारणा थी वैसी ही धारणा पुन स्थापित हो सके। किन्तु इन कणिकाओं के वणन में केवल सारियकीय $\psi$– तरगा के ही उपयोग के कारण इस काम में अनेक बाधाएँ उपस्थित हो गयी ह क्योंकि यह इन कणिकाओं के लिए किसी भी प्रकार के सरचनात्मक प्रतिरूप के उपयोग का निषेध करता है। यह विश्वास करना अनुचित नही समझा जा सकता कि शायद दृष्टिकोण को बदलकर पुन दिक-कालीय निरूपण पर लौट जाने मे इस सम्बध में कुछ सहायता मिले। स्पष्टत यह केवल एक आशा मात्र ही है। पाली तो शायद इसे निरक चक[2] ही कह। किन्तु हमारी समझ में इस सभावना को पहले स ही बिल्कुल कल्पनातीत समझना ठीक नहीं है अयथा यह आशका हो सकती है कि क्वाटम भौतिकी के शुद्ध प्रायिकतामूलक निवचन में विश्वास बहुत अधिक हो जाने मे अन्त में कही प्रगति बिल्कुल ही बन्द न हो जाय।

अन्त में जिस प्रश्न का उत्तर हमे चाहिए वह यह ह और आइन्स्टाइन बहुधा इसी पर जोर देते रह ह कि क्या वतमान निवचन जिसमें पूणत सारियकीय $\psi$–तरग का उपयोग किया जाता ह वास्तविकता का सवागपूण विवरण है ? यदि ऐसा हो तो अनियतिवाद को स्वीकार कर ही लेना पडेगा और यह भी मान लेना पडेगा कि आकाश और काल के सस्थान में परमाणु-स्तरीय वास्तविकता का परिशुद्ध निरूपण असभव है। अथवा इसके विपरीत क्या यह निवचन अपूण है और चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान के अय अधिक पुराने सारियकीय सिद्धान्तो के ही समान क्या इसके पीछे भी पूण नियतिमूलक वास्तविकता छिपी है जिसका वणन आकाश और काल के सस्थान में ऐसे चरो के द्वारा किया जा सकता ह जो हमारे लिए गुप्त ही रहेगें अर्थात जिनको प्रयोगो के द्वारा हम निर्णीत करने में असमथ रहेंगे ? यदि यह द्वितीय परिकल्पना कभी सफल होगी तो मेरा विश्वास है कि वह द्वि-साधन सिद्धान्त के ही रूप में होगी। इसमे स देह नही कि उसमें थोडे बहुत परिवतन करके तथा उसे व्यापक आपेक्षिकता से अधिक सुसगत रूप देकर अधिक सुस्पष्ट अवश्य कर लेना पडेगा। किन्तु ऐसा कहने में मैं न तो उन विकट—सभवत अलघ्य—कठिनाइयो की उपेक्षा कर रहा हूँ जो ऐसे प्रयत्न के समक्ष उपस्थित होगी और न उन कठिन गणितीय समथना की जो उसकी जड का दढता-पूवक जमाने के लिए आवश्यक होगे। यदि यह प्रयास सफल होना असभव प्रमाणित हो जाय तब तो

1 Radius 2 Blank cheque

हमें फिर शुद्ध प्रायिकतामूलक निवचन का आश्रय लेना ही पडेगा, किन्तु अभी तो मुझे इस समस्या की पुन मीमासा करना निरर्थक नही मालूम होता।

इसमें स देह नही कि यह देखकर कि इस दिशा में जो प्रयास मैं प्रारम्भ में करता रहा था उन्हें छोडकर मै पहले तो पिछले पच्चीस वर्षों से अपने सब लेखो में बोह्र तथा हाइजनबग के निवचन का ही प्रतिपादन बराबर करता रहा और अब इस सम्बन्ध में नयी शकाएँ प्रकट कर रहा हूँ, कुछ लोग मुझ पर असगतता का दोष लगायेंगे और मुझसे पूछेंगे कि क्या मेरा पहलेवाला दृष्टिकोण ही वास्तव में सही नही था? यदि परिहास क्षम्य हो तो वाल्टेयर के शब्दो में इसका मै यह उत्तर दे सकता हूँ कि "मूर्ख मनुष्य वह है जो अपने विचारो को कभी बदलता नही।" किन्तु इससे अधिक गभीर उत्तर भी सभव है। विज्ञान के इतिहास से यह बात स्पष्ट है कि जब जब कुछ धारणाओ पर लोगो का आगम[1] के सदृश अगाध विश्वास हो गया, तब-तब ऐसी धारणाओ के निष्ठुर प्रभाव के कारण विज्ञान की प्रगति मे सदैव विघ्न पडता रहा है। इसलिए जिन सिद्धान्तो को हम निर्विवाद मानने लगे है उनकी समय-समय पर अत्यन्त सूक्ष्म आलोचना करते रहना ही उचित है। पिछले २५ वर्षो में तरग-यान्त्रिकी के विशुद्ध प्रायिकता मूलक निवचन से भौतिकज्ञो को बडी सहायता मिली है क्योकि इसने उन्हें उन दुरूह समस्याओ के अध्ययन से परास्त नही होने दिया है जिनकी मीमासा उतनी ही कठिन है जितनी कि द्वि-साधनसम्बन्धी धारणाओ की, और यह इसी का परिणाम है कि बहुसख्यक अनुप्रयोगो[2] की दिशा में इतनी अनवरत और सफल प्रगति सभव हुई है। किन्तु आज तरग-यान्त्रिकी के पढाने का ढग ऐसा हो गया है कि उसकी अन्वेषक शक्ति[3] बहुत ही घट गयी है। यह बात सभी स्वीकार करते है और विशुद्ध प्रायिकता-मूलक निवचन के पक्षपाती स्वय भी ऐसी नवीन धारणाओ के निविष्ट करने का प्रयत्न कर रहे है जो और भी अधिक अमूर्त[4] है और जो चिरप्रतिष्ठित प्रतिरूपो से और भी अधिक दूर है यथा मैट्रिक्स[5], अल्पिष्ठ-दैर्घ्य[6] अ रैखिक क्षेत्र[7]। इन प्रयासो की रोचकता को अस्वीकार किये बिना भी यह प्रश्न उठाया जा सकता है कि क्या यह अधिक अच्छा न होगा कि हमारे प्रयत्न दिक्-कालीय निरूपण की सुस्पष्टता को पुन प्राप्त करने की दिशा में हो। जो भी हो, तरग-यान्त्रिकी के निवचन की कठिन समस्या का पुन अध्ययन करने की आवश्यकता यह जानने के लिए तो है ही कि इस समय जो मत "शास्त्रसम्मत[8]" माना जाने लगा है, क्या वास्तव में केवल वही ऐसा मत है जो स्वीकार करने योग्य है?

1 Dogma 2 Applications 3 Heuristic power 4 Abstract 5 Matrix 6 Minimal length 7 Non linear field 8 Orthodox

का पूर्णत समर्थन नहीं हो सका। सामरफेल्ड का सिद्धान्त बामर श्रेणी[1] तथा एक्स किरण श्रेणी की द्विक रेखाओं[2] के अस्तित्व की प्रागुक्ति तो सही कर देता है, किन्तु वह उनके वास्तविक स्थान को सही नहीं बतलाता। सामरफेल्ड की इस आभासी सफलता को सर्वथा आकस्मिक भी नहीं समझा जा सकता। अत ऐसा प्रतीत हुआ कि उनके सिद्धान्त में किसी महत्वपूर्ण अवयव की कमी रह गयी है। तरंग-यान्त्रिकी के विकास से इस स्थिति में कोई सुधार नहीं हुआ, वरन वह कुछ अधिक ही बिगड गयी। वस्तुत सामरफेल्ड के प्रयास को तरंग-यान्त्रिकी में रूपान्तरित करने के लिए उसमें आपेक्षिकता को निविष्ट करना आवश्यक हो गया। हम देख ही चुके हैं कि जो आपेक्षिकीय तरंग-समीकरण सरलता से प्राप्त हो गया था, वह काल की अपेक्षा द्वितीय वर्ण[3] का होने के अतिरिक्त श्राडिंगर के समीकरण का प्रकृत आपेक्षिकीय व्यापकीकरण[4] भी दिखाई देता था। ऐसा मालूम देता था कि सामरफेल्ड के सूत्रों को पुन प्राप्त करने के लिए केवल इतना ही पर्याप्त होगा कि इस समीकरण में क्वाटमीकरण की नवीन विधि का उपयोग कर लिया जाय अर्थात उसके इष्टमानों[5] को मालूम कर लिया जाय। किन्तु इस परिकलन का परिणाम निराशाजनक सिद्ध हुआ। जो सूत्र प्राप्त हुआ वह रूप में तो सामरफेल्ड के सूत्र से मिलता-जुलता था, किन्तु फिर भी वह बिलकुल भिन्न ही था और जिन प्रायोगिक तथ्यों की व्याख्या करना था उनसे इस सूत्र का सागत्य भी पहले से कुछ अधिक अच्छा नहीं था। अत असफलता संपूर्ण थी। तरंग यान्त्रिकी सामरफेल्ड के सिद्धात में वाछित नवीन अवयव का निवेपण नहीं कर सकी। इस समय तक उहलेनबेक और गूडस्मिट[6] की गवेषणाओं के कारण इस नवीन अवयव की रूपरेखा का ज्ञान प्राप्त हो चुका था। इसके विषय में हम आगे चलकर विवेचन करेंगे।

किन्तु सामरफेल्ड के द्विकरेखाओं से सम्बन्धित प्रश्नों के अतिरिक्त सूक्ष्म रचनाओं के विषय में कुछ अन्य कठिनाइयां भी उपस्थित हो गयी। सामरफेल्ड के सिद्धान्त ने एक्स किरण स्पैक्ट्रमों में विद्यमान कुछ सूक्ष्म रचनाओं की तो बहुत सही प्रागुक्ति कर दी थी। किन्तु इस सिद्धान्त के सूत्रों के अनुसार जैसी होनी चाहिए थी उससे कहीं अधिक जटिल रचना वास्तव में उन स्पैक्ट्रम श्रेणियों की थी। इस बात का एक उदाहरण यह है कि तत्त्वों के एक्स किरण-स्पैक्ट्रमों में सदा तीन L–श्रेणियां विद्यमान रहती हैं और इनकी रेखाएँ आवर्तियों के क्रम में अतिव्याप्त[7] होती है। किन्तु सामरफेल्ड

1 Balmer's Series 2 Doublets 3 Second order 4 Relativistic generalisation 5 Proper values 6 Uhlenbeck and Goudsmit 7 Overlapping

के सिद्धान्त न दा—केवल दो—ही श्रेणिया की प्रागुक्ति सभव है। उसमे तीसरी के लिए कोई स्थान ही नहीं है। ऐसी अनपेक्षित स्पक्टमीय रेखाओ के वर्गीकरण के लिए मामरफेल्ड ने बाद मे अपने सिद्धान्त की दो क्वाटम-सख्याओ के साथ एक तीसरी क्वाटम-सख्या का और जोड दिया और उसका बहुत कुछ असमर्थनीय नाम रख दिया "आभ्यन्तर क्वाटम-सख्या"[1]। उस समय इस तीसरी क्वाटम-सख्या का निवेशन बिल कुल ही आनुभविक[2] था और उसके सैद्धान्तिक निवचन के जितने भी प्रयत्न किये गये थे उन सबका छोड देना पडा था। इसके अतिरिक्त तरग-यान्त्रिकी भी इस मामले मे अधिक भाग्यशाली नही निकली और उसका भी इस अतिरिक्त श्रेणी तथा आभ्यन्तर क्वाटम-सख्या के निवचन मे कोई सफलता नही मिली। यहा भी फिर उसी पूर्वोक्त नवीन अवयव के निवेशन की आवश्यकता दिखाई दी।

अब जिन घटनाओ की व्याख्या पुराने क्वाटम सिद्धात के द्वारा नही हो सकी थी उनके दूसरे वर्ग—चुम्बकीय विषमताओ—की तरफ देखिए। हम असामान्य[3] ज़ीमान प्रभाव का जिक्र पहले ही कर चुके हैं और बता चुके हैं कि इसके अस्तित्व की व्याख्या न तो लारेन्टज के मूल इलेक्ट्रान सिद्धात के द्वारा हो सकी थी न पुराने क्वाटम-सिद्धान्त के द्वारा और न तरग-यान्त्रिकी के द्वारा। इस सार्वत्रिक असफलता का कारण यह था कि इन तीनो ही सिद्धान्तो में ज़ीमान प्रभाव के निवचन के मूल मे एक ही अधिमान्यता[4] स्वीकार कर ली गयी थी। यह अधिमान्यता यह थी कि परमाणुओ मे जितना भी चुम्बकीय घूर्ण होता है उस सबका एक मात्र कारण परमाणुओ के आभ्यन्तरिक इलेक्ट्रानो की कक्षीय गति ही है। यदि यह बात मान ली जाय तो यह परिणाम अनिवार्य है कि परमाणु के सपूर्ण सवेग घूर्ण[5] और उसके सपूर्ण चुम्बकीय घूर्ण[6] का अनुपात किसी नियत मान का होगा और यह मान केवल इलेक्ट्रान के वैद्युत आवेश और उसके द्रव्यमान के अनुपात पर ही अवलम्बित होगा। चिरप्रतिष्ठित इलेक्ट्रान सिद्धान्त पुराना क्वाटम सिद्धात और तरग-यान्त्रिकी का मूल रूप—इन तीनो से ही यही परिणाम निकलता है और तीनो ही सिद्धान्तो के अनुसार समस्त ज़ीमान प्रभाव उसी सामान्य[7] प्रकार का होना चाहिए जिसकी लारेन्टज ने प्रागुक्ति की थी और जिसका ज़ीमान ने आविष्कार किया था। असामान्य ज़ीमान प्रभाव का अस्तित्व भी उपयुक्त अन्य स्पक्ट्रमीय तथ्यो के अस्तित्व के समान ही सिद्धात मे एक नवीन अवयव के निवेशन की

1 Inner quantum number 2 Empirical 3 Complex 4 Postulate 5 Moment of momentum 6 Magnetic moment 7 Normal

आवश्यकता को प्रकट करता है और यह भी प्रकट करता है कि इस नवीन अवयव का चुम्बकत्व से कुछ-न-कुछ सम्बन्ध अवश्य होना चाहिए।

इसके अतिरिक्त असामान्य जीमान प्रभाव का प्रायोगिक अध्ययन जीमान के आविष्कार के बाद से ही अनवरत रूप से चलता रहा था और उसके सम्बन्ध में कई आनुभविक नियम अच्छी तरह से ज्ञात हो गये थे। यहाँ हम उन आनुभविक नियमों का विवेचन नहीं कर सकते। हम केवल यही कह कर सन्तोष करेंगे कि लण्डे[1] ने पुराने क्वाण्टम सिद्धान्त में एक गुणक —लैण्डे का g-गुणक— का निवेशन करके इन बहुसंख्यक नियमों को एक संक्षिप्त रूप देने में सफलता प्राप्त कर ली थी। किन्तु इस g-गुणक का यथार्थ निर्वचन अभी तक रहस्यात्मक ही था। इसमें सन्देह नहीं कि असामान्य जीमान प्रभाव सम्बन्धी इस समस्त अनुसन्धान कार्य ने इस घटना के सर्वांगपूर्ण सिद्धान्त के निर्माण में बड़ी सहायता की थी क्योंकि जिन नियमों की व्याख्या करना था उनके यथातथ गणितीय रूप हमें इस प्रकार पहले से ही मालूम हो गये थे।

किन्तु केवल असामान्य जीमान प्रभाव सम्बन्धी घटनाएँ ही ऐसी चुम्बकीय घटनाएँ नहीं थीं, जिनकी व्याख्या नहीं हो सकी थी। घूर्ण चुम्बकीय विषमताओं[2] की व्याख्या भी नहीं हो सकी थी। पारमाणविक चुम्बकत्व का कारण परमाणु के आभ्यन्तरिक इलैक्ट्रानों का कक्षीय परिभ्रमण है, इस परिकल्पना से यह परिणाम निकलता है कि यदि कोई लोहे की बेलनाकार छड़ उसके किसी अक्षीय बिन्दु से लटकी हो और उसे चुम्बकित कर दिया जाय तो वह छड़ अपने अक्ष पर घूमने लगेगी। विपरीततः यदि उस छड़ को अपने अक्ष पर घुमाया जाय तो उसमें चुम्बकीय घूर्ण की सृष्टि हो जायगी। इसके अतिरिक्त दोनों ही अवस्थाओं में छड़ के सवेग घूर्ण तथा चुम्बकीय घूर्ण का अनुपात उपर्युक्त नियतांक के बराबर होना चाहिए और इस नियतांक का मान इलैक्ट्रान के विशिष्ट गुणों पर अवलम्बित होगा। इस सिद्धान्त की प्रागुक्ति के सत्यापन के लिए कई प्रयोग किये गये थे—आइन्स्टाइन और डि-हास[3] द्वारा तथा बारनेट[4] द्वारा। इनसे प्रमाणित हो गया कि दोनों ही परस्पर विपरीत घटनाएँ वास्तविक हैं। चुम्बकित छड़ वास्तव में घूमने लगती है और घूमने के कारण चुम्बकत्व भी उत्पन्न हो जाता है। किन्तु यहाँ चुम्बकीय घूर्ण और सवेग घूर्ण के अनुपात का मान प्रागुक्त मान से दुगुना निकला। इस अप्रत्याशित परिणाम से कुछ संकेत मिला कि निवेश्य नवीन अवयव की तलाश किस दिशा में करनी चाहिए। यह स्पष्ट हो गया कि परमाणु का समस्त

1 Lande 2 Gyro magnetic anomalies 3 De Haas 4 Barnett

सम्बन्धित इलेक्ट्रानों के कक्षीय परिभ्रमण के कारण उत्पन्न नहीं होता और परमाणु में जिस प्रकार के चुम्बकीय घूर्ण तथा संवेग घूर्ण भी विद्यमान रहते हैं जिनके अनुपात का मान उतना नहीं होता जितना उस समय तक माना जाता था। इस बात का अनुसरण करके उह्लेनबेक तथा गूडस्मिट के मन में यह महत्त्वपूर्ण विचार आया कि स्वयं इलेक्ट्रान में भी कुछ निजी नर्तन गति[1] और निजी चुम्बकत्व विद्यमान होते हैं।

## २ उह्लेनबेक और गूडस्मिट की परिकल्पना

१९२५ के एक महत्त्वपूर्ण लेख में उह्लेनबेक और गूडस्मिट ने यह प्रतिपादित किया था कि इलेक्ट्रान में केवल कक्षा आवेश ही नहीं होता किन्तु उसमें चुम्बकीय घूर्ण और नर्तन घूर्ण[2] भी होते हैं। ऐसे चुम्बकीय तथा नर्तक इलेक्ट्रान का चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्तानुमोदित चित्र प्रस्तुत करना बहुत आसान है। इसके लिए इतना ही काफी है कि इलेक्ट्रान को एक छोटे से गोले के समान समझ लिया जाय जो ऋण विद्युत से आविष्ट है और जो अपने किसी एक व्यास पर घूम रहा है या नाच रहा है। उह्लेनबेक और गूडस्मिट ने अपनी परिकल्पना को अधिक परिच्छिन्न बनाने के लिए यह मान लिया कि इलेक्ट्रान के निजी चुम्बकीय घूर्ण तथा उसके निजी संवेग घूर्ण के अनुपात का मान चिरप्रतिष्ठित साधारण मान से दुगुना होता है। इस परिकल्पना का विचार उनके मन में घूर्ण चुम्बकीय[3] प्रयोगों के परिणामों के द्वारा उत्पन्न हुआ था। इसके अतिरिक्त विद्युत से आविष्ट और घूमते हुए गोले के चिरप्रतिष्ठित प्रतिरूप के द्वारा भी इस परिकल्पना के औचित्य का समर्थन किया जा सकता था। किन्तु इस चिरप्रतिष्ठित प्रतिरूप को स्वीकार करने में क्वाटम-दृष्टिकोण से जो कठिनाइयाँ उपस्थित होती हैं उनके कारण यह समर्थन अधिक विश्वास के योग्य नहीं समझा जा सका। फिर भी हम देखेंगे कि उह्लेनबेक और गूडस्मिट की परिकल्पना अपनी उपलक्षणाओं[4] के द्वारा बहुत ही अच्छी तरह सत्यापित हो चुकी है और पहले के समस्त सिद्धान्तों में जिस अवयव की कमी थी उसका अब पता चल गया है।

हमारी इच्छा है कि इस नवीन परिकल्पना के पारिमाणिक पक्ष को और अधिक सुस्पष्ट कर दिया जाय। क्वाटम सिद्धान्त में परमाणविक इलेक्ट्रानों का जो कक्षीय संवेग घूर्ण क्वाटमित अवस्थाओं में होता है उसका मान सदैव प्लांक के नियतांक के

1 Spin 2 Moment of rotation 3 Gyro magnetic 4 Implications

$\frac{1}{2}$ —वें भाग के किसी पूर्ण अपवर्त्य[1] के बराबर होता है। यह क्वांटमीकरण का ही परिणाम है। इन इलेक्ट्रानों में कक्षीय चुम्बकीय घूर्ण भी होता है जिसका मान "बोह्र का मैगनेटान"[2] नामक एक मूल राशि के किसी पूर्ण अपवर्त्य के बराबर होता है। यह मैगनेटान ठीक इस प्रकार का काम करता है मानो वह सचमुच चुम्बकत्व का परमाणु ही हो और आज तो चुम्बकीय घटनाओं के समस्त व्यापक सिद्धान्तों में इसका उपयोग अनिवार्य हो गया है। स्टर्न और गरलाक[3] के जिस विख्यात प्रयोग के द्वारा अकेले एक परमाणु का चुम्बकीय घूर्ण नापा जा सकता है, उसने तो बोह्र के मैगनेटान के भौतिक अस्तित्व को निश्चित रूप से प्रमाणित कर दिया है। इसके अतिरिक्त बोह्र के मैगनेटान में संवेग घूर्ण के क्वांटमीय मात्रक $\frac{h}{2\pi}$ का भाग देने से जो भागफल प्राप्त होता है उसका मान वही चिरप्रतिष्ठित मान है जिसका उल्लेख हम ऊपर कई उदाहरणों में कर चुके हैं। ऊहलेनबैक और गूडस्मिट ने इलैक्ट्रान के निजी संवेग घूर्ण का मान क्वांटम मात्रक $\frac{h}{2\pi}$ के आधे भाग के बराबर निर्धारित किया है। अतः दोनों प्रकार के घूर्णों के अनुपात का मान चिरप्रतिष्ठित मान से ठीक दुगुना ठहरता है। उन्होंने इलैक्ट्रान के निजी घूर्णन और तत्सम्बन्धी संवेग घूर्ण को व्यक्त करने के लिए अंग्रेजी शब्द स्पिन[4] का प्रयोग किया है। इस शब्द को सभी भौतिकज्ञों ने पसंद कर लिया है और अब वे इसी का व्यवहार करते हैं।*

जिस समय इन दो हालैण्ड निवासी भौतिकज्ञों के मन में इलैक्ट्रान के नर्तन की भावना का प्रादुर्भाव हुआ था, उस समय नवीन यान्त्रिकी का जन्म होने ही वाला था। अतः यह समझना आसान है कि क्यों इस परिकल्पना का विकास पहले पुराने क्वांटम सिद्धान्त की सीमाओं के अन्तर्गत ही हुआ। सबसे पहले ऊहलेनबैक और गूडस्मिट ने तथा बाद में अन्य भौतिकज्ञों ने, जिनमें टामस और फ्रेंकेल[5] का नाम उल्लेखनीय है सूक्ष्म-रचना और जीमान प्रभाव के सिद्धान्त में इलैक्ट्रान के इन नवाविष्कृत गुणों का निवेशन किया था। इसके परिणाम बहुत संतोषजनक निकले और यह बात स्पष्ट हो गयी कि हमें सही मार्ग मिल गया है। जो थोड़ी-सी कठिनाइयाँ बच गयी थीं उनका कारण

1 Whole multiple 2 Bohr's magneton 3 Stern and Gerlach 4 Spin
5 Thomas and Frenkel

* इन हिन्दी में इसे 'नर्तन' शब्द से द्वारा व्यक्त कर सकते हैं।

सम्प्रत पुरानी क्वाटमीय विधियो का उपयोग था। और तरग यान्त्रिकी मे इलैक्ट्रान नतन के निविष्ट करने पर इन कठिनाइयो का दूर हो जाना निश्चित था। किन्तु यह निवशन बिना कठिनाई के नही हो सका था। अत म पाली[1] की एक महत्त्वपूर्ण गवेषणा के आधार पर डिरैक ने इसमें अत्यन्त रोचक ढग स सफलता प्राप्त कर ली और उसम अनेक प्रकार की नवीन सभावनाएँ प्रकट हो गयी। डिरैक के सिद्धान्त के अध्ययन के लिए अधिक अच्छी तरह प्रस्तुत होने के लिए पहले पाली की प्रारम्भिक गवेषणा के विषय में कुछ कह देना आवश्यक है।

## ३ पाली का सिद्धान्त

इलेक्ट्रान के नतन में और फोटान के उस गुण म जिसे हम प्रकाश का ध्रुवण[2] कहते ह बहुत कुछ सादृश्य है। वस्तुत इसके द्वारा इलेक्टान मे एक प्रकार की सम दिगत्व[3] की कमी अथवा असममिति प्रकट होती है। निश्चय ही इन दोना मे पूर्ण तादात्म्य नहा ह क्योकि नतन मे अक्ष की दिशा भी होती है और उस दिशा में दक्षिणावर्ती या वामावर्ती अभिदिशाएँ[4] भी होती ह। किन्तु ध्रुवण मे प्राकाशिक दिष्ट[5] के कम्पन के कारण दिशा ता निर्दिष्ट होती है किन्तु उस दिशा में कोई अभिदिशा नही होती। फिर भी यदि हमें तरग-यान्त्रिकी मे नतन का निविष्ट करना है ता अधिक सभावना यही मालूम देती है कि हमें उसी मार्ग का सहारा लेना पडेगा जिसके द्वारा प्रकाश की द्वैतमयी धारणा में ध्रुवण के साथ फोटान के अस्तित्व का सागत्य सभव हुआ था क्योकि यह उद्गमन विधि[6] उसी विधि का अनुक्रम है जिसके द्वारा प्रकाश-तरगा के ज्ञात सिद्धान्त स प्रारम्भ करके द्रव्य-तरगा[7] का सिद्धान्त प्राप्त किया गया था। ऐसा जान पडता है कि पाली का अपने नतन सम्बन्धी महत्त्वपूर्ण अनुसधाना की प्रगति में इसी विचार से पथ प्रदर्शन मिला था।

इसलिए पहले हम इसी बात का विवेचन करे कि प्रकाश के ध्रुवण का और फोटान के अस्तित्व का सागत्य कैसे स्थापित किया जाय। मान लीजिए कि किसी निकल प्रिज्म[8] पर एक सम ध्रुवित[9] रश्मि पड रही है। प्रकाश विज्ञान के चिरप्रतिष्ठित तरग सिद्धान्ता के अनुसार तो घटना इस प्रकार होती है मानो निकल प्रिज्म की उपस्थिति के कारण आपतित समतल तरग कम्पन का ऐसी दो समकोणिक अशा (D तथा D ) की दिशाओ में विघटन हो जाता है जो उस प्रिज्म की सरचना द्वारा

1 Pauli 2 Polarisation 3 Isotropy 4 Senses 5 Light vector 6 Inductive method 7 Material waves 8 Nicol prism 9 Plane polarised

निर्धारित होनी है और D की दिशा का सघटक तो प्रिज्म में से पार निकल जाता है, किन्तु D की दिशा का सघटक रुक जाता है। यदि निकल को ९० घुमा दिया जाय तो हम यह समझ सकते हैं कि D तथा D अक्षो की दिशाएँ तो बदली नहीं है, किन्तु अब सिर्फ D की दिशावाला सघटक ही प्रिज्म के पार निकल सकता है। अत यदि प्रकाश-प्रचरण की दिशा से समकोणिक कोई भी दो अक्ष D तथा D ऐसे लिये जायँ जो परस्पर भी समकोणिक हो तो आपतित कम्पन D तथा D की दिशाओ में विघटित किया जा सकता है और तब समुचित प्रकार से अनुन्यस्त[1] निकल प्रिज्म उन दोनो सघटको में से किसी एक को या दूसरे को अलग करके रोक लेगा। यदि आपतित प्रकाश सम-ध्रुवित न हो और उसका ध्रुवण अन्य किसी प्रकार का हो तब भी घटना ऐसी ही रहेगी। प्रचरण की दिशा से लम्ब रूप दो समकोणिक अक्षो की दिशाओ में किसी भी आपतित प्रकाश के ऐसे सभाव्य विघटन अनन्त प्रकार के हो सकते हैं क्योकि ये दोनो अक्ष अपने समतल में अनन्त प्रकार से अनुन्यस्त हो सकते हैं। निकल प्रिज्म द्वारा दो परस्पर समकोणिक दिशाओ में ध्रुवित प्रकाश रश्मियो का पृथक्करण इनमें से प्रत्येक विघटन के अनुरूप सभव है। अब फोटान के अस्तित्व को मानकर इसी घटना का विवेचन कीजिए। मान लीजिए कि किसी ज्ञात ध्रुवण की तरग से सम्बन्धित फोटान-समूह निकल प्रिज्म में प्रवेश करता है। इनमें से कुछ फोटान तो प्रिज्म के पार निकल जाते है और उससे बाहर निकलते ही वे D-दिशा में ध्रुवित तरग से अनुपगित हो जाते है। शेष फोटान प्रिज्म से रुक जाते हैं। तरग सिद्धान्त के अनुसार निर्गत प्रकाश-ऊर्जा का नाप आपतित कम्पन के D-दैशिक सघटक की तीव्रता[2] के द्वारा अथवा उसके आयाम[3] के वर्ग के द्वारा होना है और प्रिज्म द्वारा रुकी हुई प्रकाश-ऊर्जा का नाप समकोणिक सघटक की तीव्रता के द्वारा होता है। अत हमें यह स्वीकार करना ही पड़ेगा कि जितने फोटानो का ध्रुवण निकल प्रिज्म मे से निर्गत होने पर D-दिशा में होगा उनकी सख्या का और आपतित फोटानो की सख्या का अनुपात आपतित प्रकाश के D-दैशिक सघटक की तीव्रता के द्वारा नापा जा सकता है और जितने फोटान निकल से रुक गये उनका अनुपात उससे समकोणिक सघटक की तीव्रता द्वारा निर्धारित होता है। किन्तु यह मान लेने में कोई बाधा नही है कि इस प्रयोग में आपतित प्रकाश की तीव्रता अत्यन्त ही कम भी हो सकती है। तब प्रिज्म पर उत्तरोत्तर एक फोटान के बाद दूसरा पहुँचेगा। ऐसी दशा में जैसा कि हमें व्यतिकरण[4] की घटना के सम्बन्ध में पहले

1 Oriented 2 Intensity 3 Amplitude 4 Interference

भा करना पडा था क्या हो अब भा करना पड़ेगा अथात गाणितीय दृष्टिकोण के स्थान में प्रायिकता के दृष्टिकोण का आश्रय लेना पड़ेगा और यह कहना पड़ेगा कि यदि आप निम फोटान निकल में स गिनत हान के बाद D-दिशा म ध्रुवित दिखाई पड़ेगा इस बात की प्रायिकता का नाप भी आपतित प्रकाश-कम्पन र D-दिशा घटक की तीव्रता के द्वारा ही होगा। हम अब भी यह कह सकत ह कि प्रत्यक समकोणिक अक्षयुग्म D-D के लिए फोटान के सम ध्रुवण की दो सभावनाए ह और इन दोनो सभावनाओ की अपनी-अपनी प्रायिकताएँ आपतित कम्पन के D तथा D दिशाओवाले दोनो घटको की तीव्रताओ द्वारा निर्धारित होती ह। स्पष्ट है कि जिन धारणाओ को हमने यांत्रिक राशियो के नाप क लिए स्वीकार कर लिया था ठीक उसी प्रकार की धारणाओ पर हम यहा भी पहुँच गये हैं। अब हम निकल प्रिज्म को एक ऐसा यत्र समझ सकत ह जिसके द्वारा हम यह जान सकते ह कि आपतित फोटान D-दिशा म ध्रुवित था या D-दिशा में। और यदि आपतित फोटान की आनुषगिक तरग द्वारा निरूपित अवस्था ज्ञात हो तो भी सामान्यत हम इस नाप के परिणाम की यथातथ प्रागुक्ति नही कर सकेंगे। केवल दोनो सभाव्य परिकल्पनाओ की प्रायिकताए ही निर्धारित कर सकेंगे। और चूंकि D और D अक्षो का चुनाव के असख्य तरीके हो सकत है अत फोटान की प्रारम्भिक अवस्था में असख्य प्रकार के सम ध्रुवण भी सभाव्य रूप में विद्यमान रहत ह, ठीक उसी प्रकार जस जिस कणिका की आनुषगिक तरग एक वर्ण नहो होती उसकी एक ही अवस्था म भी ऊर्जा के अनेक मान सभाव्य रूप मे विद्यमान रहते ह। यह हो सकता है कि कुछ असाधारण स्थितियो में किसी फोटान पर निकल की क्रिया के परिणाम की यथातथ प्रागुक्ति सभव हो जाय। एसा तब ही होगा जब फोटान की प्रारम्भिक अवस्था ध्रुवण की दिशा D-D की दृष्टि स शुद्ध अवस्था[1] हो अथवा दूसरे शब्दो म जब आपतित तरग या तो D-दिशा मे सम ध्रुवित हो अथवा D-दिशा मे। जो कुछ हम अभी कह चुके ह वह सब बिना कठिनाई के उस दशा मे भी ठीक निकलेगा जब निकल के समान सम-तलीय ध्रुवण विश्लेषक[2] क स्थान में किसी वृत्तीय अथवा दीर्घ-वृत्तीय ध्रुवण विश्लेषक का उपयोग किया जाय।

इस सब विवेचन स यह परिणाम निकलता है कि किसी प्रकाश-तरग के आनुषगिक फोटान के विषय में यह प्रश्न नही पूछा जा सकता कि 'उस फोटान के ध्रुवण का तल कौन-सा है?' यह प्रश्न अर्थहीन है और इसका कोई तर्क-सगत उत्तर सभव ही नही ह।

1 Pure case 2 Analyser

निर्धारित होती है और D की दिशा का संघटक तो प्रिज्म में से पार निकल जाता है किन्तु D' की दिशा का संघटक रुक जाता है। यदि निकल को ९० घुमा दिया जाय तो हम यह समझ सकते हैं कि D तथा D' अक्षों की दिशाएँ तो बदली नहीं है, किन्तु अब सिर्फ D' की दिशावाला संघटक ही प्रिज्म के पार निकल सकता है। अत यदि प्रकाश-प्रचरण की दिशा से समकोणिक कोई भी दो अक्ष D तथा D' ऐसे लिये जायँ जो परस्पर भी समकोणिक हो तो आपतित कम्पन D तथा D' की दिशाओं में विघटित किया जा सकता है और तब समुचित प्रकार से अनुयस्त[1] निकल प्रिज्म उन दोनों संघटकों में से किसी एक को या दूसरे को अलग करके रोक लेगा। यदि आपतित प्रकाश सम ध्रुवित न हो और उसका ध्रुवण अन्य किसी प्रकार का हो तब भी घटना ऐसी ही रहेगी। प्रचरण की दिशा से लम्ब-रूप दो समकोणिक अक्षों की दिशाओं में किसी भी आपतित प्रकाश के ऐसे संभाव्य विघटन अनन्त प्रकार के हो सकते हैं क्योंकि ये दोनों अक्ष अपने समतल में अनन्त प्रकार से अनुयस्त हो सकते हैं। निकल प्रिज्म द्वारा दो परस्पर समकोणिक दिशाओं में ध्रुवित प्रकाश रश्मियों का पृथक्करण इनमें से प्रत्येक विघटन के अनुरूप संभव है। अब फोटान के अस्तित्व को मानकर इसी घटना का विवेचन कीजिए। मान लीजिए कि किसी ज्ञात ध्रुवण की तरंग से सम्बन्धित फोटान-समूह निकल-प्रिज्म में प्रवेश करता है। इनमें से कुछ फोटान तो प्रिज्म के पार निकल जाते हैं और उससे बाहर निकलते ही वे D-दिशा में ध्रुवित तरंग से अनुषंगित हो जाते हैं। शेष फोटान प्रिज्म से रुक जाते हैं। तरंग सिद्धान्त के अनुसार निर्गत प्रकाश-ऊर्जा का माप आपतित कम्पन के D-दैशिक संघटक की तीव्रता[2] के द्वारा अथवा उसके आयाम[3] के वर्ग के द्वारा होता है और प्रिज्म द्वारा रुकी हुई प्रकाश-ऊर्जा का माप समकोणिक संघटक की तीव्रता के द्वारा होता है। अत हमें यह स्वीकार करना ही पड़ेगा कि जितने फोटानों का ध्रुवण निकल प्रिज्म में से निर्गत होने पर D-दिशा में होगा उनकी संख्या का और आपतित फोटानों की संख्या का अनुपात आपतित प्रकाश के D-दैशिक संघटक की तीव्रता के द्वारा नापा जा सकता है और जितने फोटान निकल में रुक गये उनका अनुपात उसके समकोणिक संघटक की तीव्रता द्वारा निर्धारित होता है। किन्तु यह मान लेने में कोई बाधा नहीं है कि इस प्रयोग में आपतित प्रकाश की तीव्रता अत्यन्त ही कम भी हो सकती है। तब प्रिज्म पर उत्तरोत्तर एक फोटान के द्वारा पहुँचेगा। ऐसी दशा में जैसा कि हमें व्यतिकरण[4] की घटना के सम्बन्ध में [illegible]

1 Oriented 2 Intensity 3 Amplitude 4 Interference

भी करना पडा था वैसा ही अब भी करना पड़ेगा अर्थात सांख्यिकीय दृष्टिकोण के स्थान में प्रायिकता के दृष्टिकोण का आश्रय लेना पडेगा और यह कहना पडेगा कि कोई आपतित फोटान निकल मे से निर्गत होने के बाद D–दिशा मे ध्रुवित दिखाई पडेगा इस बात की प्रायिकता का नाप भी आपतित प्रकाश-कम्पन के D–दशिक सघटक की तीव्रता के द्वारा ही होगा। हम अब भी यह कह सकते है कि प्रत्येक समकोणिक अभ्युग्म D–D के लिए फोटान के सम ध्रुवण की दो सभाव्यताएँ है और इन दोनो सभाव्यनाओ की अपनी-अपनी प्रायिकताएँ आपतित कम्पन के D तथा D दिशाओवाले दोनो सघटको की तीव्रताओ द्वारा निधारित होती ह। बिलकुल स्पष्ट ह कि जिन धारणाओ को हमने यान्त्रिक राशियो के नाप के लिए स्वीकार कर लिया था ठीक उसी प्रकार की धारणाओ पर हम यहा भी पहुँच गये हैं। अब हम निकल प्रिज्म को एक ऐसा यन्त्र समझ सकते ह जिसके द्वारा हम यह जान सकते ह कि आपतित फोटान D–दिशा मे ध्रुवित था या D –दिशा मे। और यदि आपतित फोटान की आनुषगिक तरग द्वारा निरूपित अवस्था ज्ञात हो तो भी सामान्यत हम इस नाप के परिणाम की यथातथ प्रागुक्ति नही कर सकेंगे। केवल दोनो सभाव्य परिकल्पनाओ की प्रायिकताएँ ही निर्धारित कर सकेंगे। और चूकि D और D' अक्षो को चुनने के असख्य तरीके हो सकते हैं, अत फोटान की प्रारम्भिक अवस्था में असख्य प्रकार के सम ध्रुवण भी सभाव्य रूप मे विद्यमान रहते ह ठीक उसी प्रकार जैसे जिस कणिका की आनुषगिक तरग एक वर्ण नहीं होती, उसकी एक ही अवस्था में भी ऊर्जा के अनेक मान सभाव्य रूप में विद्यमान रहते ह। यह हो सकता है कि कुछ असाधारण स्थितियो म किसी फोटान पर निकल की क्रिया के परिणाम की यथातथ प्रागुक्ति सभव हो जाय। ऐसा तब ही होगा जब फोटान की प्रारम्भिक अवस्था ध्रुवण की दिशा D–D की दृष्टि से 'शुद्ध अवस्था'[1] हो अथवा दूसरे शब्दो मे जब आपतित तरग या तो D–दिशा में सम ध्रुवित हो अथवा D –दिशा मे। जो कुछ हम अभी कह चुके ह वह सब बिना कठिनाई के उस दशा मे भी ठीक निकलेगा जब निकल के समान सम-तलीय ध्रुवण विश्लेषक[2] के स्थान में किसी वृत्तीय अथवा दीर्घ-वृत्तीय ध्रुवण विश्लेषक का उपयोग किया जाय।

इस सब विवेचन से यह परिणाम निकलता ह कि किसी प्रकाश तरग के आनुषगिक फोटान के विषय मे यह प्रश्न नही पूछा जा सकता कि उस फोटान के ध्रुवण का तल कौन-सा ह ?' यह प्रश्न अर्थहीन ह और इसका कोई तर्क-सगत उत्तर सभव ही नहा है।

1 Pure case 2 Analyser

हम केवल निम्नलिखित प्रश्न ही पूछ सकते है। "यदि किसी प्रयोग में समतलीय ध्रुवण-विश्लेषक का उपयोग किया जाय तो फोटान पर प्रकाश के प्रचरण से समकोणिक किसी विशेष दिशावाला सम ध्रुवण आरोपित होने की प्रायिकता कितनी है ?" हम अभी देख चुके है कि तरंग सिद्धान्त इस प्रश्न का उत्तर किस प्रकार देता है और किस प्रकार यह उत्तर मूलत तरंग फलन को दो संघटकों में विघटित कर सकने की संभावना पर अवलम्बित है।

पाली ने यह विचार किया कि तरंग-यान्त्रिकी में इलेक्ट्रान के नतन को निविष्ट करने के लिए भी यह समझना आवश्यक होगा कि $\psi$–तरंग के भी दो संघटक होते है। किन्तु यह मानना आवश्यक नही है कि प्रकाश के समान ही यहा भी ये संघटक किसी दिष्ट राशि के दो समकोणिक संघटक है। जिस प्रकार सामान्यत किसी फोटान के सम ध्रुवण की दिशा ठीक-ठीक नही बतायी जा सकती उसी प्रकार यह भी नही कहा जा सकता कि इलेक्ट्रान के नतन की दिशा कौन-सी है। हम केवल इतना ही अन्दाजा लगा सकते है कि इलेक्ट्रान में किसी विशेष दिशावाले नतन के पाये जाने की प्रायिकता कितनी है। किन्तु हम ऊपर बता चुके है कि नतन में दिशा के अतिरिक्त एक अभिदिशा[1] भी होती है तथा इस नतन का मान संवेग घूर्ण के क्वाटम मात्रक के अर्धाश अर्थात् $\frac{h}{४\pi}$ के बराबर होता है। अत पॉली ने यह परिकल्पना बनायी कि प्रत्येक दिशा D के लिए दो संभव अभिदिशाओ के अनुरूप ही नतन के भी दो मान संभव है $\left(\pm\frac{h}{४\pi}\right)$। यहाँ यह स्मरण रखना चाहिए कि $\psi$–तरंगें अनुप्रस्थ[2] नही होती। अत यह आवश्यक नही है कि नतन की D–दिशा तरंग प्रचरण से समकोणिक ही हो। अत हमे निम्नलिखित प्रश्न भी पूछने पडेंगे। 'इस बात की प्रायिकता कितनी है कि किसी प्रयोग के द्वारा इलक्टान के D–दैशिक नतन का मान $+\frac{h}{४\pi}$ निकले ?" और "इस बात की प्रायिकता कितनी है कि किसी प्रयोग के द्वारा इलेक्ट्रान के D–दैशिक नतन का मान $-\frac{h}{४\pi}$ निकले ?" प्रकाश के ध्रुवण की भाति ही पॉली ने यह परिकल्पना बनायी कि प्रत्येक दिशा D के लिए $\psi$–तरंग का विघटन दो संघटकों में किया जा सकता है और इन्ही की तीव्रताओ से उस D–दिशा के नतन के दोनो संभाव्य मानो

1 Sense 2 Transverse

$\left(\pm\frac{h}{4\pi}\right)$ की अपनी अपनी प्रायिकताए निर्णीत होती है। यदि D–दिशा बदल दी जाय तो स्वभावत ही ψ–तरग का विघटन भिन्न प्रकार का होगा, ठीक उसी तरह जस कि प्रकाश कम्पन का दो समकोणिक सघटको मे विघटन विभिन्न समकोणिक अक्षयुग्मो के लिए विभिन्न प्रकार का होता है। पाली ने व दो यौगपदिक[1] अवकल समीकरण लिख दिये जिनको सन्तुष्ट करना किसी भी विशेष D–दिशा से सम्बधित ψ–तरग के दोनो सघटको के लिए आवश्यक है। और तब उन्होने इस बात का अध्ययन किया कि D–दिशा को बदलने से इन दोनो सघटको का रूपातर कैसा होता है। ऐसा करने से उन्हे मालूम हो गया कि ψ–तरग के दोनो सघटको का रूपान्तर दिष्ट सघटको[2] के समान नही होता। भौतिक विज्ञान मे यह (नर्तक कणिका की ψ–तरग) ऐसी गणितीय सत्ता का पहला उदाहरण है जिसकी गणना टेन्सरो[3] के व्यापक वर्ग म और फलत दिष्टो[4] और अदिष्टो[5] में भी नही हो सकती क्योकि यह विदित ही है कि दिष्ट और अदिष्ट भी टेन्सर ही के विशेष प्रकार के रूप है। इस नवीन प्रकार की गणितीय सत्ता का अध्ययन कर लिया गया है और उसे अर्ध दिष्ट[6] अथवा नातनिक[7] नाम दिये गये है।

यहा हम पाली के सिद्धान्त की वैधानिक प्रक्रियाओं[8] का विस्तृत वर्णन नही करेगे। उसका उपयोग भी अधिक नही हुआ है क्योकि शीघ्र ही उसका स्थान डिरैक[9] के सिद्धान्त ने ले लिया था। इसके अतिरिक्त पॉली का सिद्धान्त आपक्षिकीय भी नही है। अत वह सामरफेल्ड द्वारा निर्दिष्ट अर्थ मे सूक्ष्म रचना की प्रागुक्ति के लिए भी उपयोगी नही है। किन्तु पॉली की धारणाएँ अधिक चित्ताकर्षक थी। उन्ही मे इस बात का सकेत मिला था कि तरग-यान्त्रिकी में नर्तन को निविष्ट करने के लिए किसी भी दिशा की दो सभाव्य अभिदिशाओ की प्रायिकता का विचार करना आवश्यक होगा। और यह भी आवश्यक होगा कि अकेले एकपदीय ψ–फलन के स्थान मे अनेक सघटकोवाला ψ–फलन प्रतिस्थापित करना पडेगा। यह डिरक के प्रतिभापूर्ण प्रयास का ही फल था कि उन्होने इस अस्पष्ट प्रारूप[10] को परिपूर्णता देने में सफलता प्राप्त कर ली।

## ४ डिरैक का सिद्धान्त[11]

इसम सदेह नही कि डिरक को पॉली के विचारो से सहायता मिली थी, किन्तु

1 Simultaneous 2 Vector Components 3 Tensors 4 Vectors 5 Scalars 6 Half vector 7 Spinor 8 Formalism 9 Dirac 10 Rough draft 11 The Theory of Dirac

उनके सामने एक और भी पथ प्रदर्शक उद्देश्य था। उनकी इच्छा थी कि ऐसी आप क्षिकीय तरग-यान्त्रिकी का निर्माण किया जाय जो वास्तव में सतोषजनक हो। हम देख चुके हैं कि तरग-यान्त्रिकी के निश्चयात्मक विकास के प्रारम्भ में ही एक ऐसा आपक्षिकीय तरग-यान्त्रिकी का प्रस्ताव किया गया था जिसका मूल तरग-समीकरण काल-सापेक्ष द्वितीय वर्ण[1] का था। इसकी सूक्ष्म समीक्षा करने के बाद डिरक इस परि णाम पर पहुँचे कि यह प्रस्ताव स्वीकार करने के योग्य नहीं है। इसके विरुद्ध उनकी मुख्य आपत्ति यही थी कि इसमें प्रचरण का समीकरण काल की अपेक्षा द्वितीय वर्ण का था। इस बात का परिणाम आपक्षिकताहीन तरग-यान्त्रिकी से विपरीत यह निक लता है कि यदि ψ—तरग के किसी प्रारम्भिक रूप द्वारा निर्दिष्ट कोई प्रारम्भिक अवस्था ज्ञात हो तो सम्पूर्ण प्रायिकता[2] की अपरिवर्तनीयता स्वत ही सुनिश्चित नहीं हो जाती और सपूर्ण प्रायिकता की स्वत उत्पन्न अपरिवर्तनीयता का प्रतिबन्ध इस बात के लिए आवश्यक है कि नवीन यान्त्रिकी के व्यापक नियमो का सरक्षण हो सके। प्रबल युक्तियो से इस तर्क का अनुसरण करके डिरैक इस परिणाम पर पहुँचे कि आपेक्षिकीय तरग यान्त्रिकी के समीकरण अनिवार्यत काल-सापेक्ष प्रथम वर्ण के होने चाहिए। फलत आकाश और काल की आपक्षिकीय समिति[3] के कारण ये समीकरण आकाशीय निर्दे शाको की अपेक्षा भी प्रथम वर्ण के ही होने चाहिए। इसके बाद उन्होने यह प्रमाणित कर दिया कि आपक्षिकीयतरग-यान्त्रिकी में तरग फलन के चार सघटक होने चाहिए जो आशिक व्युत्पन्नो के चार यौगपदिक समीकरणो को सन्तुष्ट करेंगे और ये चारो समीकरण आपेक्षिकता-हीन तरग-यान्त्रिकी के अकेले एक प्रचरण-समीकरण का स्थान ले लेंगे। इसके लिए जिन युक्तियो का उन्होने उपयोग किया था उनका विवरण देने की यहाँ आवश्यकता नही है। और अन्त में डिरक ने इस बात का पता लगाने का प्रयत्न किया कि निर्देशाक-तत्र[4] मे परिवर्तन करने मे प्रचरण-समीकरणो और तरग फलन के सघटको का रूपान्तर कैसा होता है। यह आश्चर्य की बात है कि उन्होने लोरैंट्ज़ रूपान्तरण की दृष्टि से इन समीकरणो को निश्चर[5] पाया। इससे तुरन्त ही उनका सिद्धान्त आपक्षिकीय दृष्टिकोण से सन्तोषजनक हो गया। उन्होने तरग फलन के चारो सघटको के रूपान्तरण के सूत्रो का निर्माण कर लिया। ये किसी दिक्का लीय दिष्ट-राशि के रूपान्तरण सूत्र नही थे, किन्तु जैसा कि आगे अधिक अच्छी तरह

1 Second order 2 Total probability 3 Symmetry 4 Coordinate system 5 Invariant

समझा जा सकता है तब दो सघटकवाले तरग फलन का ही उपयोग पर्याप्त है और तब एक सघटक की तीव्रता से नतन के एक मान की प्रायिकता प्राप्त हो सकती है और दूसरे सघटक की तीव्रता से दूसरे सभव मान की। ठीक यही तो पॉली के सिद्धान्त का रूप था। अत हम पाली के सिद्धान्त को डिरैक के सिद्धान्त का आपेक्षिकता रहित न्यूटनीय[1] सन्निकटन समझ सकते हैं। साथ ही यह समझना भी आसान है कि डिरैक के सिद्धान्त में पाली के सिद्धान्तवाले दो सघटकों के स्थान में ψ के चार सघटक क्यों है। नतन के अस्तित्व के लिए ψ—फलन का दो सघटकों में विघटित करना आवश्यक है और आपेक्षिकता का अस्तित्व इन दोनों सघटकों को पुन दो-दो सघटकों में विघटित कर देता है। न्यूटनीय सन्निकटन में इस दूसरे विघटन की कोई आवश्यकता नहीं होती। यहाँ हम यह और कह देना चाहते हैं कि नवीन यांत्रिकी का प्रायिकता-मूलक निर्वचन बड़ी सरलता से डिरैक के सिद्धान्त पर भी बैठाया जा सकता है किन्तु तब उसकी सकेत प्रणाली[2] कुछ अधिक जटिल हो जायगी।

और अब हम इस नवीन सिद्धान्त के उपयोगों और सफलताओं का वर्णन करेंगे। सबसे पहले तो इसके द्वारा सूक्ष्म रचना की समस्या की अच्छी व्याख्या हो जाती है और यह सामरफेल्ड के सूत्रों का औचित्य निश्चित रूप से प्रमाणित कर देता है तथा उन सूत्रों को सशोधित भी कर देता है। वास्तव में यदि डिरैक के समीकरणों के द्वारा हाइड्रोजन परमाणु के क्वाटमीकरण पर पुन विचार किया जाय तो हम देखेंगे कि नतन द्वारा निरूपित अवयव के प्रादुर्भाव के कारण एक ऐसी नवीन क्वाटम सख्या निविष्ट हो जाती है जिसका पूर्ववर्ती सिद्धान्तों में कहीं पता भी नहीं था और जिसका उस 'आभ्यन्तर क्वाटम सख्या'[3] से पूर्ण तादात्म्य है जो प्रेक्षित स्पेक्ट्रमीय पदों के वर्गीकरण के लिए वर्षों पहले केवल अनुभव के ही आधार पर निविष्ट किया गया था। इस प्रकार सूक्ष्म रचना का ऐसा सूत्र प्राप्त हो जाता है जिसका रूप तो ठीक सामरफेल्ड के सूत्र के सदृश ही है किन्तु जिसमें पुरानी दिगशीय[4] क्वाटम-सख्या के स्थान में यह नवीन क्वाटम-सख्या प्रतिस्थापित कर दी गयी है। इस प्रतिस्थापन से ही सब बातें सुव्यवस्थित हो जाती हैं और सिद्धान्त अब प्रागुक्त द्विक रेखाओं का स्थान ठीक वहीं बताता है जहाँ प्रयोग द्वारा वे पायी जाती हैं, और जहाँ तक सरलकारी परिकल्पनाओं की सहायता से परिकलन सभव है वहाँ तक तो

1 Newtonian 2 Symbolism 3 Inner quantum number 4 Azimuthal

अधिक भारी परमाणुआ के सम्ब-ध में भी यही परिणाम निकलता है। एकमक्रिण-स्पक्टम की द्विक-रेखाआ के सम्बध में जो कठिनाइया थी व भी दूर हा जाती ह। इस प्रकार यह प्रमाणित हो जाता है कि सामरफेल्ड न जिस मूल धारणा के अनुसार सूक्ष्म रचना की व्याख्या करने के लिए क्वाटम सिद्धान्त मे आपेक्षिकता का निविष्ट किया था वह ता सही थी ही, किन्तु वास्तव म सतोषप्रद परिणाम प्राप्त करने के लिए नतन का निवशन भी उतना ही जरूरी था। सामरफेल्ड की प्रारम्भिक सफलता आकस्मिक नही थी। उनकी धारणाआ मे केवल एक आवश्यक अवयव "नतन" की कमी रह गयी थी।

डिरक का सिद्धात चुम्बकीय विषमताआ[1] क निवचन में भी बहुत भाग्यशाली रहा। जीमान प्रभाव की समस्या मे जिन असामान्य प्रभावा ने पूववर्ती सैद्धान्तिका का उलझन मे डाल दिया था उनके अस्तित्व का रहस्य इस सिद्धान्त द्वारा खुल गया। इस सफलता का कारण समझना आसान ह। इन असामान्य प्रभावा की व्याख्या के लिए यह आवश्यक था कि किसी-न किसी प्रकार परमाणु के चुम्बकीय घूण तथा सवग घूण के अनुपात का मान तथाकथित सामान्य मान से भिन्न निर्धारित किया जाय। इस बात की चर्चा हम कई बार कर चुके ह। यह सामान्य मान इस परिकल्पना पर आश्रित है कि परमाणु का चुम्बकीय घूण कवल उसके इलैक्ट्राना के कक्षीय परिभ्रमण से उत्पन्न हाता ह। ऊहलनबैक तथा गूडस्मिट की परिकल्पना के अनुसार इलक्टान मे इतने निजी चुम्बकीय घूण का अस्तित्व स्वीकार कर लेने से कि जिसका इलक्ट्रान के निजी सवेग घूण से अनुपात सामान्य अनुपात से भिन्न (दुगुना) हो, डिरक के सिद्धान्त का सामान्य जीमान प्रभावा के चक्कर से मुक्त होने में और असामान्य प्रभावा की प्रागुक्ति करने में सफलता मिल गयी। और परिकल्पन के द्वारा ता सचमुच ही लैंडे[2] के सूना का सद्धातिक समथन भी प्राप्त हा गया और असामान्य प्रभावा के विवरण म इस वनानिक न जिस गुणक g का बहुत कुछ आनुभविक रीति से ही निवेशन किया था उसके मान की भी यथातथ्य प्रागुक्ति सभव हा गयी।

इस प्रकार डिरक की इस वास्तव मे सुन्दर गवेषणा स कई आश्चयजनक परिणाम निकले ह। जिन स्पक्ट्रमीय तथा चुम्बकीय घटनाआ के समुदाय की व्याख्या प्राप्त करने के समस्त प्रयत्नो की असफलता ने नतन के निवेशन की आवश्यकता

1 Magnetic anomalies 2 Lande

प्रकट की थी उनका, इसके द्वारा, सैद्धान्तिक निर्वचन-युक्त भौतिक तथ्यों की सूची में सम्मिलित करना सभव हो गया। इसने अधिकतम प्रशसनीय रीति से क्वाटम दृष्टिकोण का और ऊहलेनबक तथा गूडस्मिट की परिकल्पना का समन्वय कर दिया। प्रत्यक्षत ही यह प्रश्न उठ सकता है कि इसके द्वारा क्वाटम धारणाओ और आपेक्षिकीय धारणाओ का समाधान और एकीकरण कितनी दूर तक हो सका है क्योंकि क्वाटम धारणाएँ तो अनिवार्यत असतत होती है और आपेक्षिकीय धारणाओ में सातत्य पूर्णत अभिरजित है। यह प्रश्न कठिन है और अभी हम उसकी समीक्षा करना नहीं चाहते। हमें तो ऐसा ही जान पडता है कि अभी डिरैक के सिद्धान्त के द्वारा आपेक्षिकीय और क्वाटमीय धारणाओ का एकीकरण पूर्णत सतोषजनक नही हो सका है। किन्तु सब बातो को ध्यान में रखकर यही कहना पडेगा कि इस सिद्धान्त की रचना प्रशसनीय है और इलैक्ट्रान की तरग-यान्त्रिकी का इस समय तो यही उत्कृष्ट रूप है।

डिरैक के सिद्धान्त के अन्य उपयोगो की, यथा द्रव्य द्वारा विकिरण के प्रकीर्णन[1] की समस्या ( क्लाइन और निशिना[2] के सूत्र ) का विवचन न करके अब हम डिरैक के समीकरणो के एक विलक्षण परिणाम पर विचार करेंगे जो प्रारम्भ में तो इस सिद्धान्त का दूषण जान पडता था, किन्तु अन्त में जो उसके लिए बहुत हितकारी प्रमाणित हुआ था।

## ५ ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाएँ तथा धन-इलैक्ट्रान[3]

डिरैक के सिद्धान्त के समीकरणो मे एक विलक्षण गुण यह है कि उनके ऐसे हल भी सभव हैं जिनके द्वारा आनुषगिक कणिका की ऐसी अवस्थाएँ व्यक्त होती हैं जिनमें ऊर्जा ऋणात्मक होती है। यदि इलैक्ट्रान ऐसी ही किसी अवस्था में विद्यमान हो तो उसमें कुछ अद्भुत लक्षण दिखाई देंगे। उसके वेग में वृद्धि करने के लिए उसमें से कुछ ऊर्जा को निकाल लेना पडेगा। विपरीतत उसका वेग घटाने के लिए और उसे स्थिर कर देने के लिए उसे कुछ ऊर्जा और देना पडेगा। किन्तु किसी भी प्रयोग में कभी भी इलैक्ट्रान का ऐसा अद्भुत आचरण नहीं देखा गया और यह विश्वास करने के भी समुचित कारण है कि डिरैक का सिद्धान्त जिन ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओ को सभव बताता है उनका अस्तित्व प्रकृत जगत में वस्तुत

1 Scattering 2 Klein and Nishina 3 States of Negative Energy and the Positive Electron

होता ही नहीं। शायद यह कहना अनुचित न होगा कि डिराक के सिद्धान्त में आवश्यकता से अधिक क्षमता है। कम-से-कम आभास तो ऐसा ही होता है।

इसमें सन्देह नहीं कि डिराक के समीकरणों में ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं की सम्भावना का कारण इन समीकरणों में निहित आपेक्षिकता ही है। सच तो यह है कि विशिष्ट आपेक्षिकता सिद्धान्त[1] के प्रारम्भ में ही जब आइन्स्टाइन ने इलेक्ट्रान के आपेक्षिकीय गति विज्ञान का विकास किया था तब भी ऋणात्मक ऊर्जावाली गतियों की सम्भावना प्रकट हुई थी। किन्तु उस समय यह कठिनाई बहुत गम्भीर नहीं थी क्योंकि पूर्ववर्ती सिद्धान्तों के अनुसार ही आइन्स्टाइन के गति विज्ञान में यह मान लिया गया था कि समस्त भौतिक क्रियाएँ सतत[2] होती हैं और इलेक्ट्रान का निज द्रव्यमान[3] परिमित होने के कारण इलेक्ट्रान में कुछ परिमित मात्रा की आभ्यन्तरिक ऊर्जा सदा ही विद्यमान रहती है क्योंकि आपेक्षिकता के सिद्धान्त के अनुसार ऊर्जा में भी अवस्थितित्व[4] का गुण होता है। इस आभ्यन्तरिक ऊर्जा का लोप होना सम्भव नहीं है अतः धनात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं से ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं का सतत परिवर्तन के द्वारा प्राप्त नहीं किया जा सकता। अतः उस समय जो परिकल्पना प्रचलित थी उसके अनुसार ऐसा संक्रमण वर्जित समझा जाता था। उस समय इतना ही मान लेना काफी समझ लिया गया था कि सृष्टि के प्रारम्भ में समस्त इलेक्ट्रान धनात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं में ही थे। फलतः वे सदा ऐसी ही अवस्थाओं में रहे हैं और भविष्य में भी रहेंगे। किन्तु डिराक की यान्त्रिकी में यह कठिनाई बहुत अधिक गम्भीर है क्योंकि यह तो क्वांटमीय सिद्धान्त है। उसमें असतत घटनाएँ[5] असम्भव नहीं हैं और यह सरलता से प्रकट हो जाता है कि धनात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं से ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं में संक्रमण केवल सम्भव ही नहीं है, किन्तु बहुधा हो भी जाता है। क्लाइन[6] ने एक रोचक उदाहरण के द्वारा प्रमाणित कर दिया है कि जब कोई धनात्मक ऊर्जावाला इलेक्ट्रान किसी ऐसे प्रदेश में पहुँचता है जहाँ क्षेत्र क्षिप्र-परिवर्ती हो तो उस प्रदेश से होकर निकलने पर वह ऋणात्मक ऊर्जा की अवस्था को प्राप्त कर सकता है। अतः डिराक के सिद्धान्त के लिए यह बात बड़ी असुविधाजनक सिद्ध हुई कि किसी भी प्रयोग में कभी भी ऐसा इलेक्ट्रान नहीं पाया गया जिसकी ऊर्जा ऋणात्मक हो।

इस कठिनाई को दूर करने के लिए डिराक ने एक विलक्षण उपाय सुझाया।

1 Special Relativity 2 Continuous 3 Proper mass 4 Inertia
5 Discontinuous 6 Klein

पॉली के अपवर्जन नियम[1] के अनुसार ( जिसका वर्णन अगले परिच्छेद में किया जायगा ) किसी भी अवस्था विशेष में इलैक्ट्रानो की संख्या एक से अधिक नहीं हो सकती। यह देखकर उन्होंने यह परिकल्पना बनायी थी कि विश्व की सामान्य अवस्था में इलैक्ट्रान ऋणात्मक ऊर्जावाली समस्त अवस्थाओं में विद्यमान रहते हैं। इससे यह परिणाम निकलता है कि ऋणात्मक ऊर्जावाले इलैक्ट्रानो का घनत्व सर्वत्र एक-सा होता है। डिरैक की धारणा के अनुसार ऐसा एक-समान घनत्व प्रेक्षणगम्य नहीं हो सकता। किन्तु ऋणात्मक ऊर्जावाली समस्त अवस्थाओं को भरने के लिए जितने इलक्ट्रानो की आवश्यकता है उससे अधिक इलक्ट्रान जगत में विद्यमान है। ये बचे हुए इलैक्ट्रान ही धनात्मक ऊर्जावाले होते हैं। और ये ही हमारे प्रयोगों में प्रकट होते है। कुछ असाधारण स्थितियों मे किसी बाह्य कारण से सक्रमित होकर ऋणात्मक ऊर्जा वाला इलैक्ट्रान धनात्मक ऊर्जा की अवस्था को प्राप्त कर सकता है। उसी समय प्रायोगिक इलैक्ट्रान का आकस्मिक प्रादुर्भाव होता है और उसी समय ऋणात्मक ऊर्जावाले इलैक्ट्रानो के वितरण में एक गर्त[2] बन जाता है। डिरैक ने प्रमाणित कर दिया कि ऐसा गर्त प्रयोग द्वारा प्रेक्ष्य होना चाहिए और उसका आचरण बिल्कुल ऐसा होना चाहिए मानो वह इलैक्ट्रान के बराबर द्रव्यमानवाली कणिका हो और उसमें विद्युत की मात्रा इलैक्ट्रान के आवेश के बराबर किन्तु विपरीत चिह्नीय हो, अर्थात उस प्रति इलक्ट्रान[3] अथवा धनात्मक इलैक्ट्रान के रूप में प्रकट होना चाहिए। इसके अतिरिक्त इस आकस्मिक गर्त को धनात्मक ऊर्जावाले इलैक्ट्रान से भर जाने में अधिक देर भी नहीं लगेगी। इस इलैक्ट्रान का सक्रमण स्वतः ही हो जायगा और जो ऋणात्मक ऊर्जा वाली अवस्था क्षण भर के लिए खाली हो गयी थी उसमें वह जा पहुँचेगा और उसकी ऊर्जा विकिरण[4] के रूप मे उत्सर्जित हो जायगी। इस प्रकार डिरैक ने ऋणात्मक ऊर्जा वाली अवस्थाओं की अप्रेक्ष्यता की भी व्याख्या कर दी और साथ ही धनात्मक इलक्ट्रानो के सभाव्य, किन्तु असाधारण और क्षणिक अस्तित्व की प्रागुक्ति भी कर दी।

डिरैक की परिकल्पना सचमुच विलक्षण थी किन्तु सूक्ष्म विचार के अभाव में वह कृत्रिम-सी ही जान पड़ी। अधिकतर भौतिकज्ञो के मन मे तो शायद इस पर विश्वास होता ही नहीं यदि तुरत ही प्रयोग द्वारा उन धन इलक्ट्रानो का अस्तित्व प्रमाणित न हो गया होता जिनके सामान्य लक्षणों की प्रागुक्ति डिरैक ने कुछ ही समय पहले की थी। १९३२ में पहले तो ऐंडरसन[5] के और बाद में ब्लैकेट और

1 Exclusion principle 2 Hole 3 Anti electron 4 Radiation
5 Anderson

आकियालिनी[1] के सुन्दर प्रयागा ने सचमुच प्रमाणित कर दिया कि जब अतरिक्ष किरणा[2] क द्वारा परमाणुआ का विघटन[3] हाना है तब कुछ ऐसी कणिकाएँ भी प्रकट होती हैं जिनका आचरण बिल्कुल धन इलक्ट्राना के समान हाना है। यद्यपि उस समय यह पूर्ण दृढ़तापूर्वक नही कहा जा सकता था कि इन नवीन कणिकाआ का द्रव्यमान इलैक्टाना के द्रव्यमान के ही बराबर हाना है आर उनका आवेश भी इलक्टान-आवेश के बराबर किन्तु विपरीत चिह्नीय हाता है तथापि बाद में किये गये प्रयागा ने इस समानता का अधिकाधिक प्रायिक बना दिया था। इसके अतिरिक्त इन धन इलैक्टाना मे यह प्रवृत्ति भी पायी गयी कि द्रव्य के सपर्क में आने पर वे शीघ्र ही विलुप्त हो जाते ह और उनक स्थान म विकिरण उत्पन्न हा जाता ह। थीबा[4] और जालिआ[5] क प्रयागा के द्वारा इस विषय में काई सन्देह शेष नही रह जाता। धन इलैक्टाना की उत्पत्ति का असाधारण ढग और उनकी विलुप्त हाने की शक्ति ये दाना ही वे लक्षण ह जिनकी प्रागुक्ति डिरक ने पहले ही कर दी थी। अत अब स्थिति उल्ट गयी है क्याकि डिरैक के समीकरणा को सशय में डाल्ना तो दूर रहा अब तो उनके ऋणात्मक ऊजावाले हला का अस्तित्व उल्टे यह बतलाता है कि इन समीकरणा में धन इलक्टाना का अस्तित्व और उनके लक्षण भी निहित ह।

इतना होने पर भी हमें स्वीकार करना पडता ह कि डिरक की गर्तावाली धारणा का कई अत्यत गभीर कठिनाइया का सामना करना पडता है—विशेषकर शून्यावगा के विद्युत चुम्बकीय गुणा के सम्बन्ध मे। हमे तो इस बात की सभावना अधिक दिखाई देती ह कि डिरैक के सिद्धात का ऐसा रूपान्तरण अवश्यम्भावी है जिससे दाना प्रकार के इलक्टाना में अधिक समिति स्थापित हा जाय और गर्तो की धारणा का लाप होकर तत्सम्बन्धी कठिनाइया दूर हा जायें। इस विषय का विवेचन हम अगले परिच्छेद मे करेंगे। जा भी हा इस बात की सत्यता म सन्देह नही हा सकता कि जिन धन इलक्टाना का अब पाजीटान[6] कहत ह उनके प्रायागिक आविष्कार ने डिरक की यान्त्रिकी की मूल धारणाआ का नवीन और अत्यत विलक्षण समर्थन कर दिया है। डिरैक के समीकरणा की कुछ वर्णविपिक विशेषताआ के सूक्ष्म निरीक्षण से जा दोना प्रकार के इलक्ट्राना की समिति प्रकट हाती है वह निश्चय ही अत्यत महत्त्वपूर्ण है और इसमें सन्देह नही कि भौतिक सिद्धान्ता के भविष्य विकास म इसका महत्त्वपूर्ण हाथ रहेगा।

1 Blackett and Occhialini 2 Cosmic rays 3 Disintegration 4 Thibaud 5 Joliot 6 Positron

## बारहवाँ परिच्छेद

# निकायों की तरंग-यान्त्रिकी और पॉली का नियम

### १ कणिका निकायों की तरंग-यान्त्रिकी[1]

अब तक तो हमने नवीन यान्त्रिकी में केवल उसी स्थिति का अध्ययन किया था जिसमें अकेली एक ही कणिका किसी बल-क्षेत्र में गमन करती है। और कभी-कभी तो हमने प्रच्छन्न रूप से यह भी मान लिया था कि निकायों के लिए भी उसी तरह के नियम उपयुक्त हैं क्योंकि भौतिक विज्ञान कणिका नियमों को मूल भौतिक सत्ताओं का वस्तुत असातत्य-मूलक समझता है। अब हमें यह स्पष्ट करना चाहिए कि निकायों की तरंग-यान्त्रिकी की स्थापना कैसे हुई है।

प्रारम्भ में ही यह कह देना उचित है कि वास्तव में 'निकाय' उसे कहते हैं जिसकी कणिकाओं में पारस्परिक क्रियाएँ[2] विद्यमान हों। इनके अभाव में तो कणिकाएँ अलग-अलग ही समझी जा सकती हैं, और तब तो इसमें और अकेली कणिका में कोई फर्क ही नहीं हो सकता। यह बात पुरानी और नवीन दोनों ही यान्त्रिकियों में मान्य है।

अब हम यह स्मरण करा देना चाहते हैं कि चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी ने परस्पर क्रियाशील कणिकाओं के निकाय की गति की समस्या का किस प्रकार हल किया था। पहले तो प्रत्येक कणिका के लिए न्यूटन का वह मूल समीकरण लिख दिया गया जिसके द्वारा द्रव्य विन्दु के त्वरण और उस पर लगनेवाले बल की आनुपातिकता व्यक्त होती है, और पारस्परिक क्रिया का अस्तित्व मान लेने के कारण यह भी प्रकट है कि प्रत्येक कणिका पर जो बल लगता है वह समस्त अन्य कणिकाओं के स्थानों पर भी अवलम्बित होगा। अत जो समीकरण प्राप्त हुए थे उन्हें यौगपदिक अवकल समीकरण[3]

1 The Wave Mechanics of Systems of Corpuscles 2 Interactions
3 Simultaneous differential equations

मानना पड़ेगा। यदि समकोणिक कार्तीय निर्देशांक पद्धति[1] का अनुसरण करके ये समीकरण स्पष्टतः[2] लिखे जायँ तो उनकी संख्या कणिकाओं की संख्या से तीन गुनी होगी क्योंकि प्रत्येक कणिका के निर्देशांक तीन होते हैं। जब इन समीकरणों का हल करना संभव होता है तब हमें ऐसे व्यंजक[3] प्राप्त होते हैं जिनमें प्रत्येक निर्देशांक काल के फलन के रूप में व्यक्त होता है। अर्थात् जब हम काल-प्रवाह में प्रत्येक कणिका के स्थान और उसकी गति का अनुसरण कर सकते हैं और किसी प्रारम्भिक क्षण पर कणिकाओं के स्थान और वेग अर्थात् निकाय के तात्क्षणिक विन्यास[4] और गति ज्ञात होने पर जो समीकरण प्राप्त होंगे उनके हल पूर्णतः निर्णीत होंगे। इस प्रकार निकायों की चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी में यांत्रिकीय नियतिवाद की सत्यता प्रमाणित हो जाती है।

निकायों की चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी के विकास का विस्तृत विवरण तो हम यहाँ नहीं देंगे, किन्तु केवल यही कह देना चाहते हैं कि इन गति-समीकरणों का रूपांतरण हो सकता है और जो परिस्थितियाँ बहुधा हमारे सामने आती हैं उनमें इन्हें लाग्रांज[5] और हैमिल्टन[6] के सुविख्यात समीकरणों का रूप दिया जा सकता है। इस विषय का विवेचन हम प्रथम परिच्छेद में कर चुके हैं। किन्तु गति-समीकरणों के इन अधिक अमूर्त रूपों के लिए निकाय का एक नवीन ज्यामितीय निरूपण अधिक उपयोगी है। निकाय की प्रत्येक कणिका का प्रत्येक क्षण पर कोई स्थान निर्दिष्ट करके उस निकाय को तीन विमितियों वाले भौतिक आकाश में निरूपित न करके हम यह भी कर सकते हैं कि समस्त कणिकाओं के निर्देशांकों को एकत्र करके ऐसे अमूर्त आकाश की कल्पना करें जिसकी विमितियों की संख्या कणिकाओं की संख्या से तीन गुनी हो। यदि कणिकाओं की गति की स्वतंत्रता पर कुछ प्रतिबंध लगे हों तो विमितियों की संख्या कम भी हो सकती है। इस अमूर्त आकाश में, जिसे विन्यासाकाश[7] भी कहते हैं निकाय की प्रत्येक अवस्था एक बिंदु द्वारा निरूपित होती है जिसके निर्देशांक निकाय की समस्त कणिकाओं के निर्देशांकों के बराबर होते हैं। काल-प्रवाह में इस निकाय का जो परिणमन होगा वह इस निरूपक बिंदु के विन्यासाकाशीय विस्थापन के द्वारा व्यक्त होगा। अतः समस्त यांत्रिकीय समस्या केवल इस निरूपक-बिंदु की गति और गमन-पथ के परिगणन की ही समस्या हो जाती है और चिर-

1 System of rectangular Cartesian coordinates 2 Explicitly 3 Expressions 4 Configuration 5 Lagrange 6 Hamilton 7 Dimensions 8 Configuration space

प्रतिष्ठित यान्त्रिकी द्वारा प्राप्त समीकरण-समूह को हम इस निरूपक विन्दु के गति समीकरण समझ सकते हैं। इस प्रकार हमने त्रिविमितीय[1] भौतिक आकाश में बहु संख्यक विन्दुओं की गतियों के अध्ययन को कल्पित विन्यासाकाश में केवल एक ही विन्दु की गति के अध्ययन का रूप दे दिया है। अब यान्त्रिक नियतिवाद को सरलता से हम यों व्यक्त कर सकते हैं कि यदि विन्यासाकाश में इस निरूपक विन्दु के प्रारम्भिक स्थान और वेग ज्ञात हों तो उसकी भविष्य गति पूर्णतया निश्चित या नियत होती है।

यदि निकायों के गति विज्ञान में याकोवी के प्रमेय[2] का उपयोग करना हो तो विन्यासाकाश का उपयोग अनिवार्य हो जाता है। भौतिक निवचन के अनुसार इस सिद्धान्त का मूल उद्देश्य यह है कि उपस्थित समस्या की सभाव्य गतियों का ऐसा वर्गीकरण कर दिया जाय कि प्रत्येक वर्ग की समस्त सभाव्य गतियों में तथा किसी एक ही तरग-प्रचरण की समस्त किरणों में आनुरूप्य स्थापित हो सके। यह तो स्पष्ट ही है कि यदि समस्त गतिशील कणिकाएँ भौतिक आकाश में निरूपित की जाएँ तो गमन पथों की बहुलता के कारण ऐसा आनुरूप्य[3] स्थापित करना असभव है, किन्तु विन्यासाकाश में यह आनुरूप्य स्थापित करना आसान है क्योंकि इस आकाश में निकाय की प्रत्येक गति निरूपक विन्दु के एक हो गमन-पथ से निरूपित होती है। फलत याकोवी के सिद्धान्त के द्वारा हम निकाय की सभाव्य गतियों को अर्थात विन्यासाकाश में निरूपक विन्दु की सभाव्य गतियों का ऐसा वर्गीकरण कर सकते हैं जिसमें निरूपक विन्दु के गमन-पथों का एक वर्ग ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के समान ही तरग प्रचरण की किरणों को विन्यासाकाश में निरूपित कर दे। इस बहुविमितीय आकाश[4] में तरग प्रचरण का ज्यामितीय प्रकाश-वैज्ञानिक समीकरण यही याकोवी का समीकरण होगा जो निकाय की समस्त कणिकाओं के निर्देशाकों पर अर्थात् विन्यासाकाश के समस्त निर्देशाकों पर आश्रित होगा। न्यूनतम क्रिया का नियम तब फरमा के नियम के ही तुल्य जान पड़ेगा। यह सब हम प्रथम परिच्छेद के चौथे खण्ड में पहले ही बता चुके हैं।

चूकि याकोवी का सिद्धान्त और न्यूनतम क्रिया का नियम पुरानी यान्त्रिकी से तरग-यान्त्रिकी तक पहुँचने का राजमार्ग खोल देते हैं इसलिए हम आशा कर सकते हैं कि शायद तरग-यान्त्रिकी का विकास भी विन्यासाकाश के ढाँचे में हो सके और ठीक यही हुआ भी है। जिस विधि से श्राडिंगर का एक किरण का प्रचरण-समीकरण

1 Three dimensional 2 Jacobis Theorem 3 Correspondence 4 Space of multiple dimensions

प्राप्त करने मे सफलता मिली थी उसीके व्यापकीकरण के द्वारा निकाय की ψ–तरग के प्रचरण समीकरण को वियामाकाश में प्रस्तुत करने मे भी उन्हें सफलता मिल गयी। यह समीकरण इस प्रकार निर्मित हुआ है कि यदि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान का सन्निकटन ठीक समझा जाय तो हमे पुन याकोबी का समीकरण प्राप्त हो जाता है। किन्तु यहा ψ–फलन परिणमनशील काल के अतिरिक्त निकाय की समस्त कणिकाओ के समस्त निर्देशाको पर भी अवलम्बित होता है और उसका प्रचरण वियासाकाश मे होता है। अत इसमे ψ–तरग का सांकेतिक रूप एक कणिका सम्बन्धी ψ–तरग की अपेक्षा और भी अधिक स्पष्ट हो जाता है। शायद यह बात विचित्र भी मालूम पड़े कि निकाय का गति-सम्बन्धी विवेचन त्रिविमितीय आकाश में नही हो सकता और इस काम के लिए हमे अनिवार्यत काल्पनिक वियासाकाश को माध्यम बनाना पड़ता है। चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी में बहुधा वियामाकाश सुविधाजनक तो होता है किन्तु उसका उपयोग ऐच्छिक होता है क्योंकि निकाय की समस्त कणिकाएँ भौतिक आकाश में भी सदैव निरूपित हो सकती है। तरग-यान्त्रिकी मे वियामाकाश के अनिवार्य उपयोग के कारण इस पुस्तक के लेखक का मन बहुत समय से चिन्ताकुल रहा है और आज भी वह यही आशा करता है कि किसी दिन निकायो की तरग-यान्त्रिकी के नियम कुछ कम कृत्रिम रूप में व्यक्त हो सकेंगे और हम भौतिक आकाश और कणिकाओ की प्रचलित धारणाओ के स्थान में ऐसी धारणाएँ स्थापित कर सकेंगे जो वास्तविकता के लिए अधिक उपयुक्त हो।*

जो भी हो इस समय तो निकायो की तरग-यान्त्रिकी वियासाकाशीय तरग प्रचरणो के द्वारा ही व्यक्त की जाती है और हम देखेंगे कि उसकी विधियो को सफलता भी मिली है। निकाय का क्वाटमीकरण करने के लिए यह मालूम किया जाता है कि ऊर्जा के किन मान के लिए (जो तरग की आवृत्ति को h से गुणा करने से प्राप्त होता है) वियामाकाश में स्थावर ψ–तरगो का अस्तित्व सभव है अथवा यो कहिए

*अंग्रेजी अनुवादकर्ता की टिप्पणी—जिन निकायो मे सब कणिकाएँ एक ही प्रकार की हो उनमे कल्पित विन्यासाकाश के अनिवार्य उपयोग से अतिक्वाटमीकरण (Super Quantisation) अथवा द्वितीय क्वाण्टमीकरण (Second Quantisation) के द्वारा छुटकारा मिल सकता है। यह विधि इस बात पर आश्रित है कि ऐसे निकाय के विकास में कणिकाओ की संख्या सदा पूर्णाक ही रहेगी। कल्पित आकाश का निरसन द्वि-साधन (Double Solution) के उस नवीन सिद्धान्त की भी बात समझा जायगा जिसका विवेचन परिच्छेद १० खण्ड ६ में किया गया था।

कि प्रचरण-समीकरण के इष्टमान[1] मालूम किये जाते है और इन क्वाटमित निकाया के लिए इष्टमाना के असतत स्पक्ट्रम[2] प्राप्त हो जाते है और इनके अनुरूप इष्ट फलना[3] की भी एक पूरी सहति[4] प्राप्त हो जाती है और इसी प्रकार तरग-यान्त्रिकी के भौतिक निवचन का भी व्यापकीकरण तुरन्त ही हो जाता है। विन्यासाकाश के प्रत्येक बिन्दु पर ψ-तरग की तीव्रता इस बात की प्रायिकता का व्यक्त करेगी कि निकाय की कणिकाआ के स्थान निर्णायक प्रयोग में उस निकाय का विन्यास वही निकले जा उस बिन्दु द्वारा निरूपित हुआ हो। और इसी तरह ऊर्जा के इष्ट फलना के रूप में तरग फलन के स्पैक्ट्रमीय विघटन द्वारा जो सघटक प्राप्त होगे उनकी आनिक तीव्रताएँ यह व्यक्त करेंगी कि यथातथ मापी प्रयोग से ऊर्जा का मान हमिल्टोनियन[5] के विभिन्न इष्ट माना के बराबर पाये जाने की प्रायिकताएँ कितनी कितनी है। सक्षेप में प्रायिकता-मूलक निवचन के समस्त नियम ज्यो के-त्यो बन रहेगे। अधिक विस्तार में न जाकर हम यह भी कह देना चाहते है कि निकाय के गुरुत्व केन्द्र की परिभाषा भी हो सकती है और कीनिग[6] के प्रमेय के सदृश शुद्ध यान्त्रिकी[7] के चिरप्रतिष्ठित प्रमेया के अनुरूपी प्रमेय भी तरग-यान्त्रिकी में विद्यमान है।

श्रोडिंगर की गवेषणाआ से निकाया की तरग-यान्त्रिकी का जो रूप हमें प्राप्त हुआ है वह आपेक्षिकीय नही है। वह न्यूटनीय निकाय-यान्त्रिकी का ही तरगीकरण[8] है, आइन्स्टाइन की निकाय-यान्त्रिकी का नही, और इसका समुचित कारण यह है कि निकाया की आपेक्षिकीय यान्त्रिकी का अभी तक निश्चित रूप से निर्माण हुआ ही नही। निकाया की गति के परिशुद्ध परिकलन के लिए आपेक्षिकीय यान्त्रिकी की असमर्थता के कई कारण है, जिनमें विशेष उल्लेखनीय यह है कि आपेक्षिकता का सिद्धान्त दूरत सपन तात्क्षणिक क्रिया[9] का अनिवार्यत निषेध करता है। डिरैक की आपेक्षकीय तरग-यान्त्रिकी किसी नात बल क्षेत्र मे स्थित केवल अकेली कणिकाआ के लिए उपयोगी है। निकाया के लिए उसका व्यापकीकरण कठिन समस्या है जिसका पूर्ण हल प्राप्त करना अभी बहुत दूर की बात है।

खड ४ में हम निकाया की तरग-यान्त्रिकी के कई सुन्दर उपयोगा पर विचार करेंगे। किन्तु उससे पहले उस महत्त्वपूर्ण निकाय का अध्ययन आवश्यक है जिसमें

1 Proper values 2 Discontinuous spectra 3 Proper functions 4 Set 5 Hamiltonian 6 Koenig 7 Rational Mechanics 8 Waving 9 Instantaneous action at a distance

नवीन यान्त्रिकी की कुछ पूणत लाक्षणिक परिस्थितिया उत्पन्न हो जाती हैं। ऐसे निकाय की समस्त कणिकाएँ बिल्कुल एक-सी होती ह।

## २ एक-सी कणिकाओ के निकाय और पॉली का नियम[1]

जिस विषय का विवेचन हम अब करेंगे उसमें उस सवथा नवीन किन्तु आवश्यक धारणा का आधिपत्य ह जिसका प्रादुर्भाव क्वाटम सिद्धान्त मे उस समय हुआ था जब साख्यिकीय यान्त्रिकी मे क्रिया के क्वाटम का निवेशन वाछनीय हो गया था। हम खड ५ में समझायेंगे कि यह निवेशन किस प्रकार किया गया था। किन्तु इस समय तो हम इतना ही बतायगे कि इससे कौन-सी धारणा का जन्म हुआ। पार माणविक भौतिक विज्ञान मे सदव यह बात मान ली गयी थी कि एक ही जाति की दो कणिकाएँ (यथा दो इलैक्टान) बिल्कुल एकात्मक[2] होती ह। फिर भी यह अभिन्नता इतनी पूण नहीं मानी जाती थी कि उन दोनो एकात्मक कणिकाओ मे विभेद—कम से कम विचार मे भी—सभव ही न हो। इसी कारण से साख्यिकीय परिकल्पनो में एक ही निकाय की ऐसी दो अवस्थाएँ भिन्न समझी जाती थी जिनमें केवल इतना ही भेद हो कि उनमें एक ही जाति की दो कणिकाओ के कार्यों का पक्षान्तरण[3] हो गया हो। फलत जब इलैक्ट्रानो द्वारा निर्मित किसी निकाय पर विचार किया जाता था तो निकाय की जिस सामूहिक अवस्था[4] मे प्रथम इलैक्ट्रान की व्यक्तिगत अवस्था क हो तथा द्वितीय इलैक्ट्रान की व्यक्तिगत अवस्था ख हो वह उस सामूहिक अवस्था से भिन्न समझी जाती थी जिसमे अन्य सब इलैक्ट्रानो की व्यक्तिगत[5] अवस्थाएँ तो ज्यों की-त्यो रहे, किन्तु प्रथम इलैक्ट्रान की अवस्था ख हो जाय तथा द्वितीय की अवस्था क हो जाय। क्वाटम-साख्यिकी के विकास ने एक ही निकाय में विद्यमान एक ही जाति की दो कणिकाओ में विभेद करने की सभावना का पूणत निषेध कर दिया है और किसी निकाय की जिन दो अवस्थाओ में केवल दो एक-सी कणिकाओ के पक्षान्तरण का ही भेद हो उन्हे एकात्मक और अविभेद्य[6] स्वीकार कर लिया ह। इस बात पर हम बाद मे विचार करेंगे कि मूल-कणिकाओ म व्यक्तित्व[7] के इस अभाव का अथ क्या है। इस समय तो हम केवल इसके परिणामो पर ही विचार करेंगे।

निकायो की तरग-यान्त्रिकी मे एक ही जाति की कणिकाओ के पक्षान्तरण के

1 Systems Containing Particles of the Same Nature Pauli s Principle
2 Identical 3 Transposition 4 Collective state 5 Individual 6 Indistinguishable 7 Individuality

अत्यन्त महत्त्वपूर्ण परिणाम होते हैं। मान लीजिए कि किसी निकाय में समस्त कणिकाएँ एक ही जाति की हैं और मान लीजिए कि इस निकाय के सम्भाव्य तरंग फलना में से एक ψ है। परिभाषा के अनुसार यह तरंग फलन दो कणिकाओं की अपेक्षा समित[1] तब कहलाता है जब उन दोनों कणिकाओं के निर्देशांकों का पक्षान्तरण करने से भी उसके व्यंजक के मान में कोई परिवर्तन नहीं होता। विपरीत इसके यदि दो कणिकाओं के निर्देशांकों के पक्षान्तरण से उसके व्यंजक का मान तो न बदले, किन्तु केवल उसका चिह्न ही बदल जाय तो वह फलन दो कणिकाओं की अपेक्षा प्रति-समित[2] कहलाता है। यहाँ यह बता देना आवश्यक है कि सामान्यतः तरंग फलन न तो समित होता है और न प्रति-समित। किन्तु एक ही जाति की दो कणिकाओं की विनिमयता[3] के द्वारा निम्नलिखित प्रमेय सिद्ध किया जा सकता है। 'यदि किसी निकाय में कणिकाएँ एक ही जाति की हों तो सदैव कुछ तरंग फलन ऐसे विद्यमान रहते हैं जो एक ही जाति की कणिकाओं के समस्त युग्मों की अपेक्षा या तो समित होते हैं या प्रति-समित।' निकाय की जिस अवस्था का तरंग फलन समित हो उसे हम "समित अवस्था" कहेंगे और जिसका तरंग फलन प्रति-समित हो उसे हम प्रति-समित अवस्था कहेंगे। 'पारस्परिक क्रिया विभव[4] प्रत्येक कणिका युग्म पर समितः अवलम्बित होते हैं' इस तथ्य के द्वारा एक दूसरा प्रमेय भी सिद्ध किया जा सकता है जो प्रथम प्रमेय की अपेक्षा कम महत्त्व का नहीं है। "किसी निकाय को समित अवस्था से प्रति-समित अवस्था में अथवा प्रति-समित अवस्था से समित अवस्था में संक्रमण[5] कराना सम्भव नहीं है।" दूसरे शब्दों में यह सम्भव नहीं है कि एक ही प्रकार की अवस्थाओं के समान ही विसदृश अवस्थाओं का भी रिट्ज[6] के अर्थ में संयोजन[7] हो सके। इससे यह परिणाम निकलता है कि एक ओर तो समित अवस्थाओं का समूह और दूसरी ओर प्रति-समित अवस्थाओं का समूह एक दूसरे से सर्वथा पृथक् है और इन दोनों समूहों में किसी प्रकार का सम्पर्क सम्भव नहीं है। अतः तरंग-यान्त्रिकी का इस नियम से मेल बैठ सकता है कि वास्तव जगत में अमुक प्रकार की कणिकाओं की केवल समित अवस्थाएँ और अमुक प्रकार की कणिकाओं की केवल प्रति-समित अवस्थाएँ ही पायी जाती हैं क्योंकि काल के प्रारम्भ में जिस किसी अवस्था का अस्तित्व था वह अवस्था सदा वैसी ही बनी रही

1 Symmetrical 2 Anti symmetric 3 Interchangeability 4 Interaction potentials 5 Transition 6 Ritz 7 Combination

ह और सदा वसी ही बनी रहगी। यह नियम तरग-यान्त्रिकी का परिणाम नही है क्योकि उसमे तो दोनो ही प्रकार की अवस्थाओ के लिए स्थान ह। किन्तु इसका तरग-यान्त्रिकी मे कोई विरोध भी नही है। अब हम यह स्पष्ट करेंगे कि पाली को ऐसे नियम के अस्तित्व की कल्पना कम से कम इलक्ट्रानो के लिए क्या करनी पडी।

परमाणु की सरचना का अध्ययन करते समय हम चौथे परिच्छेद के चौथे खड में ऊर्जा-स्तरो[1] की सतृप्ति[2] की घटना की ओर ध्यान आकर्षित कर चुके ह और उसके मौलिक महत्त्व पर जोर भी दे चुके है क्योकि तत्त्वो के अनुक्रम में परमाणु-सरचना के उत्तरोत्तर विकास पर और इन तत्त्वो के रासायनिक प्रकाशिक तथा चुम्बकीय गुणो की समस्त विभिन्नताओ पर इसी घटना का आधिपत्य है। हम यह भी बता चुके है कि परमाणु म नये इलक्टानो के सम्मिलित होने से किस प्रकार ऊर्जा-स्तर उत्तरोत्तर सतृप्त होते जाते ह। इस बात का आनुभविक निर्णय भी हो चुका है। इसका सक्षिप्त नियम स्टोनर[3] ने प्रस्तुत किया था। किन्तु प्रारम्भ म उसका सद्धान्तिक समर्थन अच्छी तरह से नही हो सका था। किन्तु स्टोनर के इस नियम की कृपा स हमें यह ज्ञात हो गया ह कि परमाणु का प्रत्येक ऊर्जा-स्तर इलैक्टानो की किस महत्तम सख्या का ग्रहण कर सकता ह। इन तथ्यो का रहस्य समझने के प्रयत्न मे ही पाली के मस्तिष्क म यह विचार उत्पन्न हुआ कि ऊर्जा-स्तरो की सतृप्ति का मूल कारण यह ह कि दो इलक्ट्रानो की क्वाटमित अवस्थाओ का पूर्णत एक-सी होना असभव ह अर्थात सर्वथा अभिन्न क्वाटम-सख्याओ के द्वारा दोनो इलक्ट्रानो की अवस्थाओ का निरूपण सभव नही ह। दूसरे शब्दो में यह भी कह सकते ह कि यदि किसी एक क्वाटम अवस्था में एक इलक्ट्रान पहले से ही विद्यमान हो तो उसी अवस्था मे अन्य किसी इलैक्टान की उपस्थिति वर्जित है। यही कारण है कि इस नवीन भौतिक नियम का 'अपवर्जन नियम'[4] का नाम दे दिया गया। तरग यान्त्रिकी की भाषा मे पाली का नियम निम्न प्रकार व्यक्त किया जा सकता है। वास्तव जगत म इलैक्टान केवल प्रति-समित अवस्थाओ म ही पाये जात ह। हम देख ही चुके ह कि ऐसी उक्ति नवीन यान्त्रिकी के प्रतिकूल नही ह। यह समझने के लिए कि अपवर्जन नियम के उपर्युक्त दोनो रूप सचमुच ही अभिन्न है मान लीजिए कि किसी निकाय मे दो इलक्टानो की व्यक्तिगत अवस्थाएँ बिलकुल एक-सी ह। यदि द्वितीय रूप के अनुसार यह मान लिया जाय कि इस इलक्ट्रान-युग्म की अपेक्षा तरग फलन

1 Energy levels 2 Saturation 3 Stoner 4 Exclusion Principle

प्रति-समित है तो दोनों इलेक्ट्रानों की क्रियाओं का पक्षान्तरण करने से फलन का चिह्न बदल जाना चाहिए। किन्तु दोनों इलेक्ट्रानों की व्यक्तिगत अवस्थाएँ एक-सी होने के कारण तरंग फलन में कोई परिवर्तन नहीं हो सकता। फलत चूँकि पक्षान्तरण से तरंग-फलन का चिह्न बदलना भी चाहिए और नहीं भी बदलना चाहिए इसलिए अनिवार्यत ही उस फलन का मान शून्य के बराबर होना चाहिए और नवीन यान्त्रिकी में तरंग फलन का मान शून्य होने का अर्थ यह है कि जिस स्थिति की कल्पना की गयी थी उसका अस्तित्व सभव ही नहीं है। अर्थात दो इलेक्ट्रान कभी एक-सी व्यक्तिगत अवस्थाओं में रह ही नहीं सकते। इस प्रकार अपवर्जन नियम के द्वितीय रूप से ही हमें प्रथम रूप प्राप्त हो जाता है। इसका विलोम[1] प्रमेय भी आसानी से प्रमाणित किया जा सकता है।

अत तरंग-यान्त्रिकी में पाली के अपवर्जन नियम का वैश्लेषिकीय रूप यह है कि इलेक्ट्रान निकायों के लिए वे ही तरंग फलन उपादेय[2] हैं जो समस्त इलेक्ट्रान-युग्मों की अपेक्षा प्रति-समित हों। किन्तु इस नियम के उपयोग में यह स्मरण रखना आवश्यक है कि इलेक्ट्रान में नर्तन भी विद्यमान रहता है। अत उसकी व्यक्तिगत अवस्था व्यक्त करनेवाला फलन केवल उसके निर्देशाकों का ही फलन नहीं होता, किन्तु वह उसके नर्तन के मान का भी फलन होता है और पाली के नियमानुसार उपादेय फलन समस्त निर्देशाकों के अतिरिक्त नर्तन की अपेक्षा भी प्रति-समित होने है। यह बात इस सिद्धान्त के गणितीय विकास के लिए अत्यन्त महत्त्वपूर्ण है, किन्तु हम उसका और अधिक विवेचन नहीं करेंगे।

पॉली के नियम में यह बड़ा गुण है कि वह ऊर्जा-स्तरों की सतप्ति की उत्तम व्याख्या प्रस्तुत कर देता है। क्वाटम सख्याओं के विभिन्न मचयों[3] के द्वारा निरूपित अनेक विभिन्न अवस्थाओं में ऊर्जा का मान बिलकुल बराबर हो सकता है और फलत वे सब अवस्थाएँ एक ही ऊर्जा-स्तर में समाविष्ट होती है। इस तथ्य का उपयोग करके पाली के नियम में से ही स्टोनर के नियम का भी सही निगमन[4] हो जाता है। अत पॉली के नियमानुसार किसी ऊर्जा-स्तर के इलेक्ट्रानों की महत्तम सख्या मालूम करने के लिए इतना ही काफी है कि गिनकर हम यह देख लें कि उस ऊर्जा-स्तर के अन्तगत विभिन्न क्वाटम-अवस्थाओं की सख्या अधिक से अधिक कितनी हो सकती है क्योंकि जब प्रत्येक क्वाटम अवस्था में एक एक इलेक्ट्रान बैठ जाता है तभी उस ऊर्जा-स्तर

1 Inverse 2 Admissible 3 Combinations 4 Deduction

में इलक्ट्रानो की संख्या महत्तम हो जाती है। इसी गणना से स्टोनर का नियम प्राप्त हो जाता है। निकायों की तरंग-यान्त्रिकी के उपयोगों में पाली के नियम का बड़ा मौलिक महत्त्व है और किस प्रकार इलक्ट्रान निकायों के लिए वह फरमी डिरक सांख्यिकी[1] का जन्म देता है इन विषयों पर हम बाद में विचार करेंगे।

यदि इलक्ट्रानों की संभव अवस्थाएँ केवल प्रति-समित ही होती हैं तो यह प्रश्न उठ सकता है कि सूक्ष्म-स्तरीय भौतिक विज्ञान की अन्य मूल[2] तथा यौगिक[3] कणिकाओं की अवस्थाएँ कैसी होती हैं। क्या पाली का नियम उन पर भी लागू होता है? या इसके विपरीत क्या उनकी संभव अवस्थाएँ केवल समित ही होती हैं? या दोनों ही प्रकार की अवस्थाएँ संभव हैं? यह तो निश्चित ही जान पड़ता है कि इस अंतिम विकल्प का अनुभव हम कभी भी नहीं होता। प्रकृति जगत में या तो केवल प्रति-समित अवस्थाओं का या केवल समित अवस्थाओं का अस्तित्व ही पाया जाता है। प्रति-समित अवस्थावाली कणिकाओं के वर्ग में इलक्ट्रान तथा कई परमाणु नाभिक[4] सम्मिलित हैं। प्रत्येक क्वांटम-अवस्था में इस प्रकार की कणिकाएँ एक से अधिक नहीं रह सकती। अतः जैसा कि हम पहले ही देख चुके हैं इनके लिए फरमी डिरक की सांख्यिकी ही अनुप्रयोज्य होती है। समित अवस्थावाली कणिकाओं के वर्ग में फोटान आल्फा-कण और अन्य परमाणु-नाभिक सम्मिलित हैं। इनके लिए एक ही क्वांटम-अवस्था में अनेक कणिकाओं के एकत्र हो जाने में कोई बाधा नहीं है क्योंकि समित फलन में तो एक-सी कणिकाओं के पक्षान्तरण से कोई परिवर्तन नहीं हो सकता। अतः इन समित फलनवाली कणिकाओं के लिए जो सांख्यिकी अनुप्रयोज्य होती है वह बोस आइन्स्टाइन सांख्यिकी[5] कहलाती है। फोटानो के लिए प्लांक का नियम इसी सांख्यिकी का परिणाम है। व्यापक रूप से ऐसा जान पड़ता है कि जिन कणिकाओं का नर्तन घूर्ण नर्तन के मात्रक $\frac{h}{4\pi}$ का विषम अपवर्त्य होता है वे पाली के नियम का पालन करती हैं और जिन कणिकाओं का नर्तन घूर्ण शून्य होता है अथवा $\frac{h}{4\pi}$ का सम अपवर्त्य[8] होता है वे बोस-आइन्स्टाइन सांख्यिकी के अधीन होती हैं। यह अर्ध-आनुभविक नियम महत्त्वपूर्ण है। नर्तन और सांख्यिकी के प्रश्नों का घनिष्ठ संबंध है। नर्तन और सांख्यिकी के प्रश्नों का पट्टीवाले

1 Fermi Dirac Statistics 2 Fundamental 3 Complex 4 Atomic nuclei 5 Bose Einstein Statistics 6 Spin moment 7 Odd multiple 8 Even multiple

स्पैक्ट्रमों[1] के अध्ययन में तथा परमाणविक नाभिकों की संरचना में महत्त्वपूर्ण स्थान है। अत्यन्त महत्त्वपूर्ण होने पर भी इन बातों का विवेचन यहाँ नहीं किया जा सकता।

पाली का नियम अपने अधीन इलक्ट्रानों तथा अन्य कणिकाओं के एक अद्भुत गुण को व्यक्त करता है। वास्तव में आज भी यह समझना असभव है कि दो एक-सी कणिकाओं में से एक कणिका दूसरी को अपनी ही जैसी अवस्था प्राप्त करने से कैसे रोक सकती है। यह पारस्परिक क्रिया चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की क्रियाओं से सर्वथा भिन्न है और इसके भौतिक रहस्य का अभी तक हमें पता नहीं लग सका है। आगामी काल के सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान के सामने अत्यन्त महत्त्वपूर्ण, किन्तु बहुत ही कठिन समस्या यह है कि अपवर्जन नियम के भौतिक कारण की खोज में उसे सफलता कैसे प्राप्त हो।

यह समझने के लिए कि इस प्रसंग में हम प्राचीन धारणाओं से कितनी दूर पहुँच गये हैं ऐसी गैस पर विचार करिए जिसकी समस्त कणिकाएँ एक ही जाति की हों और पॉली के नियम का पालन करनेवाली हों—यथा, इलैक्ट्रान-गैस। अपवर्जन नियम के अनुसार ऐसी गैस में यह असंभव है कि दो इलैक्ट्रान एक ही सरल रेखात्मक अचर वेगवाली[2] अवस्था में विद्यमान हों क्योंकि यहाँ क्वाटमित अवस्थाएँ वही होती हैं जिनमें गति सरल रेखात्मक तथा अचर वेगवाली हो। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार इसका अर्थ यह होगा कि जिस पात्र में यह गैस भरी है उसके भीतर के किसी एक बिन्दु पर अवस्थित कणिका किसी भी अन्य कणिका को ठीक अपनी जैसी अवस्था प्राप्त नहीं करने देगी। यह बात बिलकुल विरुद्धाभासी[3] है क्योंकि गैस के पात्र का हम जितना चाहें उतना बड़ा मान सकते हैं। फलतः उन दोनों कणिकाओं की दूरी भी जितनी चाहे उतनी बड़ी समझी जा सकती है। किन्तु इस विरुद्धाभास का हाइजनबर्ग के अनिश्चितता के अनुबन्धों से घनिष्ठ सम्बन्ध है और यदि उनको मान लिया जाय तो इसका निराकरण हो जाता है। बात यह है कि कणिकाओं की सरल-रेखात्मक और अचर वेगवाली गतियों के अनुरूप ही उनकी सुनिर्णीत ऊर्जाएँ होती हैं। अतः अनिश्चितता के अनुबन्ध दो कणिकाओं की गत्यात्मक अवस्थाओं और उनके स्थानों की यौगपदिक चर्चा का निषेध करते हैं। कणिकाओं की ऊर्जात्मक अवस्थाओं को सुनिर्णीत मानने से ही उनके स्थान सर्वथा अनिश्चित हो जाते हैं और तब उनकी पारस्परिक दूरी की चर्चा भी असंभव हो जाती है। इस उदाहरण से स्पष्ट हो जाता

1 Band spectra 2 Uniform rectilinear motion 3 Paradoxical

कि अपवर्जन नियम का भौतिक निर्वचन चिरप्रतिष्ठित प्रतिरूपों की परिधि से बाहर ढूंढना पड़ेगा।

## निकायों की तरंग-यान्त्रिकी के उपयोग

पॉली के नियमानुसार परिवर्धित तथा नतन की धारणा द्वारा संशोधित निकाय तरंग-यान्त्रिकी के उपयोगों से बहुत सी विलक्षण सफलताएँ प्राप्त हुई हैं। हीलियम स्पैक्ट्रम की व्याख्या इन्ही में से एक है। यद्यपि बोह्र के सिद्धान्त द्वारा आयनित हीलियम[1] के स्पेक्ट्रम की व्याख्या प्रारम्भ में ही हो गयी थी (क्योंकि आयनित हीलियम भी एक इलेक्ट्रानवाले परमाणु निकायों की सूची में आ जाता है) तथापि अनाविष्ट[2] हीलियम का स्पेक्ट्रम प्रहेलिका ही बना रहा। अनाविष्ट हीलियम की रेखाएँ वास्तव में दो सर्वथा भिन्न वर्गों में विभाजित हो सकती हैं और इन दोनों वर्गों के आनुषंगिक स्पेक्टमीय पद कम-से-कम प्रथम सन्निकटन तक तो संयोजित हो नहीं सकते। इन सर्वथा स्वतंत्र रेखाओं के समुदायों को दो पृथक् नाम भी दे दिये गये थे—आर्थो हीलियम[3] स्पैक्ट्रम तथा पार हीलियम[4] स्पेक्ट्रम, और दीर्घकाल तक यही धारणा बनी रही कि हीलियम परमाणु ही दो विभिन्न प्रकार के होते हैं और दोनों भिन्न भिन्न प्रकार के स्पैक्ट्रम उत्सर्जित करते हैं। किन्तु अन्त में यह स्वीकार करना संभव हो गया कि वास्तव में आर्थो-हीलियम तथा पार-हीलियम अलग-अलग नहीं हैं। हीलियम का एक ही परमाणु परिस्थितियों के अनुसार आर्थो-हीलियम स्पैक्ट्रम का अथवा पार हीलियम स्पैक्टम का उत्सर्जन कर सकता है। एक विख्यात लेख में हाइज़नबर्ग ने इस प्रहेलिका के रहस्य का उद्घाटन कर दिया था। अनाविष्ट हीलियम परमाणु के दोनों ग्रहीय इलैक्ट्रान पॉली के नियम के अधीन होते हैं। इस कारण इस परमाणु के तरंग फलन दोनों इलैक्ट्रानों के समस्त निर्देशांकों तथा नतनों की अपेक्षा प्रति-समित होने चाहिए। किन्तु ऐसा दो प्रकार से हो सकता है। यह भी हो सकता है कि तरंग फलन निर्देशांकों की अपेक्षा तो समित हो किन्तु नतनों की अपेक्षा प्रति समित हो और यह भी हो सकता है कि वे निर्देशांकों की अपेक्षा तो प्रति-समित हों और नतनों की अपेक्षा समित हों। अतः तरंग फलन दो जातियों के होंगे। फलतः स्पेक्टम पद भी दो विभिन्न जातियों के होंगे, और एक ही जाति के न होने के कारण उनका संयोजन भी कम से कम प्रथम सन्निकटन तक तो नहीं हो सकेगा। अतः हीलियम स्पेक्टम के दो स्वतंत्र भागों में विभाजित होने की पूर्णतः

1 Ionised helium 2 Neutral 3 Ortho helium 4 Par helium

सतोषजनक व्याख्या प्राप्त करने के लिए इतना ही यथेष्ट है कि हम एक जाति के पदों को आर्थो-हीलियम के पद समझ लें और दूसरी जाति के पदों को पार-हीलियम के। इस विवेचन के द्वारा हाइड्रोजन या आर्थो-हीलियम तथा पार-हीलियम स्पेक्ट्रमों की कई विचित्रताओं को समझने में सफलता मिल गयी—विशेषकर यह समझने में कि पार-हीलियम की रेखाएँ तो सरल[1] अथवा एकक[1] होती हैं, किन्तु आर्थो हीलियम की तीन-तीन रेखाओं के त्रिक[2] बन जाते हैं। हाइड्रोजन के सिद्धान्त के द्वारा केवल इस छोटे-से तथ्य की प्रागुक्ति ही पॉली के नियम का अच्छा सत्यापन है क्योंकि दोनों प्रकार की रेखाओं की सूक्ष्म रचनाओं में यह विभेद पॉली के नियम का ही परिणाम है। इस नियम के अभाव में बिल्कुल ही दूसरी प्रागुक्तियाँ प्राप्त होती और वे प्रयोगों द्वारा समर्थित नहीं हो सकती थीं।

निकाय-तरंग-यान्त्रिकी का दूसरा उल्लेखनीय उपयोग हुआ है हाइड्रोजन अणु के सिद्धान्त में और व्यापक रूप से समस्त सम ध्रुवी[3] अणुओं के सिद्धान्त में। जिस अणु के परमाणुओं के वैद्युत आवेश विभिन्न प्रकार के हों अर्थात जो विषम ध्रुवी[4] हों उसके परमाणुओं को जोड़नेवाले बंधन[5] का कारण चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त के द्वारा भी कुछ कुछ समझ में आ जाता है। यहाँ तो वस्तुतः यह कल्पना भी की जा सकती है ऐसे अणु के विभिन्न परमाणु अपने इलेक्ट्रानों का पारस्परिक आदान प्रदान करके, आयनों[6] में परिणत हो जाते हैं और इसलिए यह भी समझा जा सकता है कि आणविक रचना के स्थायित्व का कारण उस अणु के संघटक आयनों के बीच का कूलम्बीय बल ही है। किन्तु सम ध्रुवी अणुओं की समस्या (उदाहरण के लिए दो बिल्कुल एक से परमाणुओं से बने हुए अणुओं की समस्या) पुराने भौतिक विज्ञान के लिए बड़ी उलझन में डालनेवाली समस्या थी क्योंकि कोई भी ऐसा कारण नहीं है कि जिससे एक ही प्रकार की वैद्युत बंधुता[7] वाले परमाणु विभिन्न चिह्नीय आयनों में परिणत हो जायें। फलतः यह समझ में नहीं आता कि इन अनाविष्ट परमाणुओं के बीच में किस प्रकार का बल बन्धन का काम करता है। और जिन बलों की कल्पना की भी जा सकती है वे सब इस काम के लिए अत्यन्त क्षीण होते हैं। तरंग-यान्त्रिकी की यह कोई छोटी-मोटी विजय नहीं है कि उसने 'विनिमय ऊर्जाओं'[8] के निवेशन के द्वारा सम ध्रुवीय बन्धना के रहस्य का उद्घाटन कर दिया। इन रहस्यमय शब्दों का अर्थ यह है कि जब हम तरंग यान्त्रिकी के द्वारा एक सी कणिकाओं के निकाय के विकास का

1 Singlets 2 Triplets 3 Homopolar 4 Heteropolar 5 Bond
6 Ions 7 Affinity 8 Exchange energies

समीक्षा करते हैं तब कणिकाओं की बात पारस्परिक क्रियाओं के अस्तित्व का व्यक्त करनेवाले पदों के साथ-साथ उस निकाय की ऊर्जा के व्यंजक में कुछ नवीन प्रकार के पद भी प्रकट हो जाते हैं जिनका सम्बन्ध उन एक-सी कणिकाओं के पक्षान्तरण[1] की सम्भावना से होता है। इन्हीं पदों का नाम विनिमय ऊर्जा रक्खा गया है। इनका सम्बन्ध उन सर्वथा नवीन प्रकार के बलों से है जिनका चिरप्रतिष्ठित विधि से किसी भी प्रकार का दिष्ट राशीय[2] निरूपण सम्भव नहीं है, किन्तु जिनके परिमाण बहुत बड़े हो सकते हैं। ये नये बल नवीन यान्त्रिकी के विधान के अनिवार्य परिणाम हैं किन्तु इनका भौतिक निरूपण (इस शब्द के प्राचीन अर्थ में) बिल्कुल ही असम्भव मालूम देता है। एक बार फिर हमारे समक्ष ऐसा तथ्य उपस्थित हो जाता है जो समस्त चिरप्रतिष्ठित धारणाओं की सीमा से बाहर है और जो यह प्रकट कर देता है कि त्रिविमितीय सतत आकाश में भौतिक सत्ताओं के अवस्थापन[3] की हमारी साधारण विधि कितनी भ्रान्तिपूर्ण है। यहाँ यह बता देना बड़ा शिक्षाप्रद होगा कि विनिमय-ऊर्जा का अस्तित्व केवल तभी होगा जब आकाश के एक ही प्रदेश में दो एक-सी कणिकाओं के पाये जाने की प्रायिकता शून्य न हो। दूसरे शब्दों में सामान्यतः तरंग-यान्त्रिकी में कणिकाओं का स्थान तो निर्दिष्ट नहीं किया जा सकता किन्तु उनका कुछ सम्भाव्य घनत्व वितरण[4] निर्धारित हो सकता है और विनिमय ऊर्जा का अस्तित्व केवल उसी अवस्था में सम्भव है जब दो एक-सी कणिकाओं के घनत्व वितरण अतिव्याप्त[5] हों। इस बात से विनिमय-ऊर्जा का और आकाश में कणिकाओं के अवस्थापन की असम्भवता का सम्बन्ध स्पष्ट हो जाता है।

विनिमय-ऊर्जा के इन अत्यन्त रोचक गुणों का विवेचन छोड़कर अब हम यह बताना चाहते हैं कि सम ध्रुवी अणुओं के निर्माण की व्याख्या यह किस प्रकार करती है। ऐसे अणुओं का सबसे सरल उदाहरण हाइड्रोजन का अणु है जिसके दोनों परमाणुओं में एक एक इलेक्ट्रान होता है। जब दो दूरस्थ हाइड्रोजन परमाणु एक दूसरे के निकट आ जाते हैं तब उनका एक यान्त्रिक निकाय बन जाता है जिसमें दो इलेक्ट्रान होते हैं। अतः इन दोनों इलेक्ट्रानों के बीच में विनिमय-ऊर्जा का प्रादुर्भाव हो जाता है। पाली के नियम का तथा गणन का उपयोग करके तरंग-यान्त्रिकी की प्रक्रियाओं में इस विनिमय-ऊर्जा का परिकलन हो सकता है। हाइटलर तथा लण्डन[6] ने यह परिकलन किया

1 Transposition 2 Vectorial 3 Localisation 4 Density distribution 5 Overlapping 6 Heitler and London

था। उनके परिकलन का परिणाम यह निकला कि यदि दोनो इलैक्ट्रानो के नतन की अभिदिशा[1] एक ही हो तब तो विनिमय-ऊर्जा ऐसी होती है जिससे प्रकट होता है कि दोनो परमाणुओ में पारस्परिक प्रतिकर्षण[2] है। अत अणु बन ही नही सकता, किन्तु इसके विपरीत यदि नतनो की अभिदिशाएँ विपरीत हो तो विनिमय-ऊर्जा ऐसी होती है जो प्रकट करती है कि परमाणुओ में आकर्षण[3] होता है किन्तु यदि वे अधिक निकट आ जायें तो यह आकर्षण बदलकर प्रतिकर्षण हो जाता है। अत इस दशा में स्थायी अणु बनने की प्रवृत्ति होती है। यह सिद्धान्त हाइड्रोजन अणु के निर्माण और उसके गुणो की बहुत अच्छी व्याख्या कर देता है। इसके सारभाग को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है। दोनो हाइड्रोजन परमाणुओ के इलक्टानो में यह क्षमता है कि उनका एसा युग्म बन जाय जिसमें नतन विपरीत अभिदिशाओवाले हो। ऐसे युग्म में स्थायित्व का गुण बहुत अधिक मात्रा में होता है और यही दोनो परमाणुओ के बीच में बन्धन का काम करता है और उन्हे एक ही अणु में युग्मित रखता है। इस रूप मे व्यक्त होने से समस्त द्वि परमाणुक अणुओ के और बहु-परमाणुक अणुओ के सघटन के लिए भी इसी व्याख्या का व्यापकीकरण हो सकता है। उदाहरण के लिए किसी भी द्वि परमाणुक अणु को लीजिए। जिन दो परमाणुओ से यह अणु बन सकता है उनमे बहुत से इलैक्ट्रान होगे। इनमें से प्रत्येक परमाणु में कुछ इलक्ट्रानो के युग्म तो ऐसे होगे जिनके दोनो इलैक्टानो की ऊर्जा तो बराबर होगी किन्तु नतन विपरीत अभिदिशावाले होगे। किन्तु थोडे से इलैक्टान एस भी होगे जो इस प्रकार युग्मित न हो। इन अ-युग्मित इल्क्टानो का परिहासमय नाम 'अविवाहित इल्क्टान'[4] है और इनमें यह प्रवत्ति होती है कि यदि अवसर मिले तो किसी दूसरे परमाणु के इल्क्ट्रान स मिलकर ये अपना जोडा बना लेते है। परिकलन से मालूम होता है कि अनुकूल परिस्थितियो में दो परमाणुओ के पास पास आने से ऐसा अणु बन जाता है जिसमें दोनो परमाणुओ के कम-से-कम थोडे से अविवाहित इलक्ट्रान तो परस्पर युग्मित हो जाते है। ऐसे जोडो के बनने से ही दोनो परमाणुओ के बीच में आणविक बन्धन की सृष्टि हो जाती है। स्पष्टत ही इस व्याख्या का व्यापकीकरण दो से अधिक परमाणुओवाले अणुओ के लिए भी हो सकता है।

विपरीत नतनोवाले इलक्ट्रानो के जोडो की सृष्टि के द्वारा अणुओ के निर्माण की व्याख्या से ही हम संयोजकता[5] नामक रसायन विज्ञान की अत्यन्त मौलिक धारणा

1 Sense 2 Repulsion 3 Attraction 4 Bachelor electrons 5 Valency

रा भी निरूपण प्राप्त हो जाता है। व्यापक रूप में हम यह कह सकते हैं कि यदि किसी परमाणु की साधारण सरचना में अविवाहित इलेक्ट्रानों की सख्या n हो तो उसकी रासायनिक सयोजकता भी n के बराबर होगी। ऐसा परमाणु n हाइड्रोजन परमाणुओं से सयोजित होकर अणु बना सकता है क्योंकि उसका प्रत्येक अविवाहित इलेक्ट्रान एक हाइड्रोजन परमाणु के इलेक्ट्रान के साथ युग्मित हो सकता है। अतः ऐसा परमाणु n-सयोजक होगा—कम-से-कम उसकी महत्तम सयोजकता n होगी। इससे प्रकट होता है कि रासायनिक सयोजकता का अस्तित्व दो इलेक्ट्रानों की विनिमय ऊर्जा से सम्बन्धित होता है और इससे यह भी स्पष्ट हो जाता है कि अन्य प्रकार के बलो के समान सयोजक बलों का निरूपण किसी भी दिष्टीय[1] व्यवस्था के द्वारा सभावजनक क्यो नहीं हो सकता। इसके अतिरिक्त युग्मित हो जाने पर दोनो इलेक्ट्रान एक प्रकार से उदासीन हो जाते हैं और फिर आगामिक सयोजन में उनसे कोई सहायता नहीं मिलती। इस तथ्य से सयोजकता-सतृप्ति की भी व्याख्या हो जाती है। जब तक सयोजकता का निरूपण पुरानी तरह के बलों के द्वारा करने का प्रयत्न होता रहा तब तक यह सतृप्ति बिल्कुल ही बोध-गम्य नहीं हो सकी थी। अतः यह स्पष्ट हो जाता है कि तरंग-यांत्रिकी पर आधारित सयोजकता का यह नवीन सिद्धांत कितना लाभदायक और बौद्धिक सतोष देनेवाला है।

किन्तु यद्यपि सयोजकता के सिद्धान्त का यह नवीन आधार अब असदिग्ध जान पड़ता है तथापि इस सिद्धान्त से सम्बद्ध अनेक तथ्यों की (यथा बहु-सयोजकता[2] अथवा दिष्ट-सयोजकता[3], त्रिविमितीय रसायन[4], स्वतन्त्र बन्धन आदि की) विस्तृत व्याख्या प्राप्त करने के लिए अभी कड़े परिश्रम की आवश्यकता है। यह काम अत्यन्त अध्यवसायपूर्वक प्रारम्भ हो चुका है किन्तु यह गणितीय रसायन[6] बड़ा कठिन विज्ञान है और उसे पूर्ण बनाने के लिए अभी बहुत परिश्रम करना पड़ेगा। अभी तक तो हाइड्रोजन-अणु के समान सरल प्रकार के अणुओं के अतिरिक्त अन्य अणुओं के स्पष्ट मानों तथा इष्ट फलनों का स्पष्ट परिकलन ही सभव नहीं हुआ है। जिन तरंग फलनों के व्यंजक लिखने में हम असमर्थ हैं उनको समिति के गुण के अनुसार वर्गीकरण करके और उनके इष्ट मानों को गिनकर ही अभी तो सतोष करना पड़ेगा। इस समय तो हमें सघ सिद्धांत[7] की अत्यन्त व्यापक विधियों का ही उपयोग करना पड़ेगा। यह सिद्धांत जिससे भौतिकज्ञ अभी तक अधिक परिचित नहीं थे तरंग-यांत्रिकी की इस

1 Vectorial 2 Multiple valency 3 Directed valency 4 Stereo Chemistry 5 Free binding 6 Mathematical Chemistry 7 Group theory

शाखा में अनिवार्य हो गया है और उसकी सहायता से अत्यन्त शीघ्रता तथा सुन्दरता-पूर्वक श्रेष्ठ और अत्यन्त व्यापक परिणाम निकल आये हैं। किन्तु जो सद्धान्तिक भौतिज्ञ इस कठिन विधि का उपयोग करना जानते हैं, उन्हें रसायन विज्ञान के बहु-संख्यक जटिल मौलिक तथ्यों का अध्ययन करने का अवकाश ही नहीं मिला है। अतः जो परिणाम प्राप्त हो गये हैं उन्हें पूर्णता प्रदान करने के लिए ऐसे भौतिकज्ञों का रसा-यनज्ञों के साथ घनिष्ट सहयोग स्थापित करने की नितान्त आवश्यकता है। जो भी हो, आज भी रसायन विज्ञान के कई अत्यन्त महत्त्वपूर्ण नियमों के रहस्य का उद्घाटन कर देने का श्रेय सबसे अधिक इस नवीन यान्त्रिकी को ही दिया जा सकता है।

## ४ क्वाटम-सांख्यिकी[1]

इस नवीन यान्त्रिकी के विकास का प्रभाव वाल्टजमान तथा गिब्स[2] की चिर-प्रतिष्ठित साख्यिकीय यान्त्रिकी पर भी पड़ना अनिवार्य हो था। इस साख्यिकी को स्थूल-स्तरीय भौतिक विज्ञान में प्रचुर सफलता मिल चुकी थी। यहा हम इस बात की विस्तृत चर्चा नहीं कर सकते कि क्रिया के क्वाटम के प्रादुर्भाव ने साख्यिकीय यान्त्रिकी के मूल आधारों में कितना परिवर्तन कर दिया है। हम केवल इतना ही कर सकते हैं कि तरग-यान्त्रिकी द्वारा प्रस्तुत प्रतिरूपों की सहायता से आदर्श गैस[3] पर विचार करके इस परिवर्तन का कुछ आभास मात्र दे दें। आदर्श गैस में टक्करों को छोडकर शेष समय में परमाणुओं की अवस्थाएँ ऐसी होती हैं जिनमें उनकी गति सरल रेखात्मक तथा अचर वेगवाली होती है। चिरप्रतिष्ठित साख्यिकीय यान्त्रिकी में गति की इन अवस्थाओं की परम्परा सतत मानी जाती है क्योंकि वेग की समस्त दिशाएँ और उसके समस्त मान समान रूप से सभाव्य होते हैं। बोल्टजमान और गिब्स की विधि तत्त्वतः यही है कि ऊर्जा के किसी विशेष मान के लिए गति की इन विभिन्न अवस्थाओं में गैस-परमाणुओं के सभव वितरणों की गिनती करके यह पता लगा लिया जाय कि सबसे अधिक प्रायिकता किस वितरण की है। जिस समय परमाणु की गति के साथ किसी तरंग प्रचरण की आनुषगिकता स्थापित करके क्रिया के क्वाटम का निवेशन किया गया था (यथा तरग-यान्त्रिकी में) तब यह स्थिति बदल गयी थी क्योंकि किसी अचल पात्र में भरी होने के कारण तरग-यान्त्रिकी में, क्वाटमीकरण की मूल धारणा के अनुसार, उस गैस में केवल उन्हीं अप्रगामी तरगों का भौतिक अस्तित्व सभव हो सकता है जो पात्र के

1 Quantum Statistics 2 Boltzmann and Gibbs 3 Perfect gas

विस्तार की अपक्षा अनुनादी[1] हो। इसलिए पहले तो इन स्थावर अवस्थाओ की सख्या की गणना करना आवश्यक होगा और तब पूर्ण-ऊर्जा के किसी भी ज्ञात मान के लिए इन अवस्थाओ मे परमाणुओ के सभव वितरण का हिसाब लगाना पड़ेगा। स्थूल मापदडीय पात्र के लिए (और समस्त व्यवहारोपयोगी पात्र वास्तव मे केवल इसी प्रकार के हो सकते हैं) प्लाक के नियताक की स्वल्पता के कारण इन स्थावर अवस्थाओ की परम्परा असतत तो होती हैं, किन्तु अत्यन्त स्वल्पान्तरालित[2] भी होती है। इसलिए हम यह विश्वास कर सकते है कि हमारे प्रेक्षण मे सब कुछ ऐसा ही मालूम देता है मानो यह परम्परा सतत ही हो। साख्यिकीय यात्रिकी के उपयोग की उचितता का यही कारण है। इस विश्वास में बहुत सचाई है और पुरानी साख्यिकीय विधियो की सफलता का रहस्य भी इसी से समझ मे आ जाता है। फिर भी इस स्थूल मापदडीय स्तर पर भी क्रिया के क्वाटम के निवेशन के कुछ ऐसे विचित्र परिणाम प्रकट हुए है जिनका सत्यापन भी सभव हैं। इनमें प्रमुख परिणाम तो यह है कि इसके द्वारा ऐट्रापी का नियताक[3] निर्णीत हो सका है। चिरप्रतिष्ठित साख्यिकीय यात्रिकी मे यह नियताक अनन्त माना जाता था। यह बात बडी विचित्र मालूम देती थी। किन्तु अब हम जान गये है कि इसका कारण यही था कि भौतिक जगत के स्थायित्व के लिए क्रिया का जो क्वाटम अपरित्याज्य[4] है प्रमादवश उसी की उपेक्षा की गयी थी। कुछ लोगो ने इस कठिनाई से यह कहकर बचना चाहा था कि ऊष्मा गतिकी[5] मे एट्रापी का नियताक मनमाना[6] होने के कारण उसे अनन्त मान लेने मे भी कोई हानि नहीं है। किन्तु क्वाटम सिद्धात ने ऐंटोपी के मान को परिमित[7] बना दिया और प्लाक के नियताक के फलन के रूप मे उसका परिकलन भी सभव कर दिया, और तब मालूम पड़ा कि किसी वाष्प और उसके सघनित[8] के सन्तुलन के पूर्ण परिकलन म ऐंटोपी के नियताक का प्रभावशाली स्थान होता है और इसी बात से इस नियताक के क्वाटम सिद्धान्त द्वारा प्राप्त मान का पारिमाणिक सत्यापन भी सभव हो गया है।

किन्तु साख्यिकीय यात्रिकी के क्वाटम रूप के पूर्ण विकास के लिए विभिन्न सभाव्य क्वाटम-अवस्थाओ मे उस निकाय के परमाणुओ अथवा अन्य अवयवो के विभिन्न वितरणो की सख्या का परिकलन आवश्यक है और यह प्रश्न उठते ही हमें यह भी ध्यान मे रखना पडेगा कि इसी परिच्छेद के खड २ में जो बात बतायी गयी थी उसका इस

1 Resonant 2 Closely spaced 3 Constant of entropy 4 Indispensable 5 Thermo dynamics 6 Arbitrary 7 Finite 8 Condensate

परिकलन पर अत्यंत महत्त्वपूर्ण प्रभाव पड़ेगा। सबसे पहले तो हम यह देख ही चुके हैं कि एक ही जाति की दो कणिकाओं की एकात्मकता हमें बाध्य करती है कि जो दो वितरण ऐसी कणिकाओं के पक्षान्तरण[1] द्वारा प्राप्त होंगे उनको भी हम अभिन्न ही समझें। वितरणों के गिनने की इस नवीन विधि का उपयोग पुरानी सांख्यिकीय यान्त्रिकी में भी हो सकता था क्योंकि यह कोई क्वाटमीय धारणा नहीं है। और इससे कई परिणाम ऐसे निकले भी थे जो बोल्टज़मान गिब्स की सांख्यिकी के परिणामों से सर्वथा भिन्न थे। किन्तु इससे कुछ और परिणाम भी निकलते हैं। इन वितरणों के परिकलन में हमें इस बात का भी ख्याल रखना पड़ेगा कि हमारे निकाय की कणिकाएँ पॉली के नियम का पालन करती हैं या नहीं अर्थात हमें यह स्मरण रखना पड़ेगा कि यदि उनके तरंग फलन आवश्यक रूप से प्रति-समित हों तब तो प्रत्येक अवस्था में अधिक-से-अधिक एक ही कणिका रह सकती है किन्तु इसके विपरीत यदि वे पॉली के नियम का पालन नहीं करती हों तो हमें विदित ही है कि उनके तरंग फलन अवश्य ही समित होंगे और तब प्रत्येक संभव अवस्था में कणिकाओं की संख्या को सीमित रखने का कोई भी कारण नहीं हो सकता। इन दोनों स्थितियों में वितरणों की संख्या बिल्कुल अलग-अलग निकलेगी। पहली स्थिति में जिस परिकलन विधि का उपयोग होगा वह फरमी डिरैक की सांख्यिकी के नाम से विख्यात है किन्तु उसे हम पॉली की सांख्यिकी भी कह सकते हैं क्योंकि उसका अस्तित्व अपवर्जन नियम में प्रच्छन्न रूप से निहित है। दूसरी स्थिति के लिए उपयोगी परिकलन विधि बोस-आइन्स्टाइन सांख्यिकी[3] कहलाती है और यह तरंग-यान्त्रिकी सम्बन्धी प्रारम्भिक गवेषणाओं में ही संभाव्य रूप से निहित है।

यदि h का मान घटकर शून्य के नजदीक पहुँच जाय तो इन दोनों नवीन सांख्यिकियों का चिरप्रतिष्ठित सांख्यिकी से अनन्त-स्पर्शी तादात्म्य हो जाता है। यह प्रागुक्ति तो पहले से ही की जा सकती थी। यदि ऊष्मा-गतिकी का निर्माण इन दोनों सांख्यिकियों के अनुसार किया जाय तो हमें दो प्रकार की ऊष्मा-गतिकियाँ प्राप्त हो जायेंगी जिनमें बहुत ही थोड़ा-सा फर्क होगा। किन्तु यदि h अत्यन्त स्वल्प हो तो ये दोनों भी चिरप्रतिष्ठित ऊष्मागतिकी से बिल्कुल मिल जायेंगी। इन विभिन्न ऊष्मा-गतिकियों के द्वारा आदर्श गैस के नियमों का निगमन करने से हमें ऐसे नियम प्राप्त होते हैं जिनमें चिरप्रतिष्ठित नियमों का व्यतिक्रम[4] विपरीत दिशाओं में होता है। उदाहरण के लिए एक सांख्यिकी के अनुसार तो गैस की सपीड्यता[5] मेरियट-गे-लूसैक[6] के नियम

1 Transposition 2 Fermi Dirac Statistics 3 Bose Einstein Statistics 4 Departure 5 Compressibility 6 Mariotte Gay Lussac

द्वारा निर्दिष्ट मान की अपेक्षा अधिक निकलेगी, किन्तु दूसरी के अनुसार कम। किन्तु दुर्भाग्यवश जैसा कि हम पहले बता चुके है सामान्य परिस्थितियों में गैस नियमों के ये साख्यिकीय व्यतिक्रम अत्यन्त स्वल्प होते हैं। इस कारण इनका पता लगाना असभव है और यह असभवता इस कारण और भी अधिक बढ़ जाती है कि वास्तविक गैसें आदर्श गैसे नही होती और मेरियट-गे-लूसक के नियम में जो व्यतिक्रम अन्य कारणों से उत्पन्न होते है (यथा अणुओं की पारस्परिक क्रिया तथा उनके परिमित आयतन आदि कारणों से), व साख्यिकी के प्रभाव से उत्पन्न व्यतिक्रम को ढक लेते है। अत वास्तविक गैसों के अध्ययन में नवीन साख्यिकी का सत्यापन नही किया जा सकता। किन्तु सौभाग्य से दोनों ही साख्यिकियों का एक एक अनुप्रयोग ऐसा है जिससे उनकी यथार्थता प्रमाणित हो सकती है। बोस-आइन्स्टाइन की सांख्यिकी का ऐसा अनुप्रयोग कृष्ण वस्तु विकिरण[1] के सम्बन्ध में है और फरमी डिरैक की सांख्यिकी का धातुओं में विद्यमान इलेक्ट्रानों के सम्बन्ध में है। अब हम इन दोनों के विषय में कुछ शब्द कहेंगे।

हम देख चुके है कि फोटान पाली के नियम का पालन नही करते। अत अनेक फोटानों की अवस्था एक-सी होने मे कोई बाधा नही है। फलत फोटानों द्वारा सघटित गैस बोस आइन्स्टाइन की सांख्यिकी के अनुसार आचरण करेगी। यह विदित है कि किसी समतापीय[2] कोष्ठक[3] मे विद्यमान सन्तुलन विकिरण[4] की तुलना फोटान गैस के साथ पूर्ण रूप से हो सकती है। अन्तर केवल इतना होता है कि विकिरण मे फोटानों की सख्या आवश्यक रूप से अचर नही रहती क्योंकि कोष्ठक की दीवारें भी विकिरण का अवशोषण और उत्सर्जन कर सकती है। सन्तुलन विकिरण पर बोस आइन्स्टाइन की साख्यिकी का उपयोग करके और उपर्युक्त विशेष परिस्थिति का ध्यान मे रखकर प्लाक का स्पैक्ट्रमीय वितरण सम्बन्धी नियम बडी आसानी से प्राप्त हो जाता है। प्लाक का नियम तो प्रयोग द्वारा पूर्णत सत्यापित हो ही चुका है। अत इससे बोस-आइन्स्टाइन की साख्यिकी का भी विलक्षण रूप से समर्थन हो जाता है और यह समर्थन और भी अधिक विश्वसनीय यो है कि सन्तुलन विकिरण मे फोटानों का यथार्थ स्पैक्ट्रमीय वितरण न तो चिरप्रतिष्ठित साख्यिकी से प्राप्त हो सकता है और न फरमी डिरैक की साख्यिकी से।

इसी प्रकार फरमी डिरैक-साख्यिकी का भी विलक्षण सत्यापन धातुओं के इलेक्ट्रान सिद्धान्त द्वारा हो गया है। पुराने इलेक्ट्रान सिद्धान्त के समर्थकों ने विशेषत ड्रूड[5]

1 Black body radiation 2 Isothermal 3 Enclosure 4 Equilibrium radiation 5 Drude

और लारेंट्ज ने धातुओ के गुणो की व्याख्या करने का प्रयत्न किया था—खासकर ऊष्मा तथा विद्युत के चालन[1] सम्बन्धी गुणो का। उनकी परिकल्पना यह थी कि धातुओ में परमाणु अंशत आयनित[2] हो जाते है और इस आयनीकरण से धातु में स्वतंत्र इलेक्ट्रानो की एक गैस बन जाती है। इस इलैक्ट्रान-गैस पर साख्यिकीय यात्रिकी की विधियो का उपयोग करने से उन्हे धातुओ के अनेक गुणो की प्रागुक्ति प्रस्तुत करने में सफलता भी मिली थी। फिर भी इस सिद्धान्त मे अनेक कठिनाइया बनी रही। सबसे महत्त्वपूर्ण कठिनाई धातुओ की विशिष्ट-ऊष्मा[3] के सम्बन्ध मे थी। स्वतंत्र इलैक्ट्रानो की उपस्थिति के कारण इसका मान प्रयोगलब्ध मान से बहुत ज्यादा होना चाहिए था। नवीन साख्यिकी का विकास होने पर सामरफेल्ड ने इनमें से कुछ कठिनाइयो को तो दूर कर दिया। इलैक्ट्रान अपवर्जन नियम के अधीन होते है। अत उन पर तो फरमी डिरक की साख्यिकी लागू होनी चाहिए। सरल सख्यात्मक परिकलन से प्रकट हो जाता है कि जिन परिस्थितियो में इलैक्ट्रान धातु में रहते है, वे उन परिस्थितियो से बहुत भिन्न होती है जिनमें साधारण स्थूल-स्तरीय गैसो के परमाणु पाये जाते है। यद्यपि इन परमाणुओ के सम्बन्ध में चिरप्रतिष्ठित साख्यिकी और फरमी डिरैक की साख्यिकी द्वारा प्राप्त परिणामो में कोई प्रेक्षण-गम्य अन्तर नही होता तथापि धातु के इलेक्ट्रानो के सम्बन्ध में फरमी की साख्यिकी से वही परिणाम नही निकलते जो बोल्टजमान की साख्यिकी से निकलते है। इस प्रभेद का कारण यह है कि द्रव्य परमाणुओ की अपेक्षा इलैक्ट्रान बहुत ही हल्के होते है। यदि क्वाटम-साख्यिकी की सत्यता स्वीकार कर ली जाय तो ड्रूड और लोरैंट्ज के सिद्धान्तो का विकास फिर से पूर्णत सशोधित रूप में करना पडेगा। सामरफेल्ड ने ही यह काम सबसे पहले किया। इस प्रकार पुराने सिद्धान्त के सही परिणाम तो ज्यो के-त्यो रहे, बल्कि उनमें भी कुछ अधिक पूर्णता आ गयी। इसके अतिरिक्त जो कठिनाइया उत्पन्न हो गयी थी उनमें से भी बहुतो का निराकरण हो गया। उदाहरण के लिए फरमी डिरक की साख्यिकी के ही परिणामो से उन्होने इस बात की सरल व्याख्या कर दी कि धातु की विशिष्ट ऊष्मा के मान में स्वतंत्र इलेक्ट्रानो द्वारा कोई प्रेक्षणगम्य अशदान नही हो सकता और इस विशिष्ट ऊष्मा का मान ऐसा होता है मानो स्वतंत्र इलेक्ट्रानो का कोई अस्तित्व ही नही है। इस प्रकार पुराने सिद्धान्त के मार्ग में जो बहुत बडी बाधा थी वह दूर हो गयी। सामरफेल्ड की इस गवेषणा से जो रास्ता खुल गया था उसी का अनुसरण करके अनेक

1 Conduction 2 Ionized 3 Specific heat

सैद्धान्तिकों ने पूर्ववर्ती परिणामों का विभिन्न दिशाओं में परिवर्तन कर दिया है। इनमें लियो ब्रिलो[1] फेलिक्स ब्लाख[2] और पीयर्स[3] के नाम उल्लेखनीय हैं।

क्वाटम भौतिकी की इस अत्यन्त महत्त्वपूर्ण और बहुत शाखा का पूरा विवरण इस छोटी-सी पुस्तक में देना सम्भव नहीं है। किन्तु यह न भूलना चाहिए कि इन चमत्कारी परिणामों के साथ-साथ अब भी अनेक बातें अँधेरे में ही रह गयी हैं। उदाहरणार्थ अति चालकता[4] जैसी विचित्र और महत्त्वपूर्ण घटना की अभी तक कोई सन्तोषजनक व्याख्या नहीं हो सकी है।

क्वाटम-सांख्यिकी के अन्य अनुप्रयोगों में से हम केवल उसी की चर्चा करेंगे जिसमें परमाणुओं के गुणों का निगमन करने के लिए फरमी ने साहसपूर्ण प्रयोग परमाणु को ऐसी गैस मान लिया है जो नाभिक[5] के चारों ओर में अवस्थित इलेक्ट्रॉनों से बनी द्वारा सघटित हो। इसमें फरमी ने अपनी सांख्यिकी का बहुत अच्छा उपयोग किया है।

## ५ व्यक्तित्व की सीमाएँ[6]

हम देख चुके हैं कि एक ही प्रकृति की कणिकाओं के निकायों की तरंग यान्त्रिकी में और उनकी क्वाटम सांख्यिकी में कणिकाओं के व्यक्तित्व की धारणा का थोड़ा बहुत परित्याग निहित है। किन्तु यह कहना कि कणिकाओं के व्यक्तित्व की धारणा का पूर्णत परित्याग करना आवश्यक होगा हमारी समझ में अतिशयोक्ति होगी। हम तो समझते हैं कि कणिकाओं के व्यक्तित्व की धारणा का सम्बन्ध आकाश के विभिन्न प्रदेशों में उनके अवस्थापन की सभावना से है। यह सभावना तो सदा उपस्थित रहती ही है। अत प्रयोग के द्वारा कणिकाओं में व्यक्तित्व निदान की भी सभावना सदव रहेगी। किन्तु एक-समान कणिकाओं के व्यक्तित्व का अनुसरण करना उस समय सभव नहीं हो सकेगा जब उनके सभाव्य प्रायिकता घनत्व[7] के वितरण परस्पर अति व्याप्त[8] हो, क्योंकि तब कणिकाओं का विनिमय सभव हो जायगा। [illegible] उस बात से है जो खड ३ में हम विनिमय-ऊर्जा के विषय में कह चुके हैं। [illegible] में जिन निकायों का अध्ययन किया जाता है उनमें [illegible] होती है विशेषकर ऐसी गैस में जिसके कणों की ऊर्जा [illegible] अर्थात जिसके कणों की आनुषगिक तरंग यथायत अथवा [illegible] हो और पूरे कोष्ठक[9] में व्याप्त रहती है। [illegible] कि चिरप्रतिष्ठित

1 Leon Brouillon 2 Felix Bloch 3 Peierls 4 Super conductivity 5 Nucleus 6 Limits of Individuality 7 Probability density 8 Over lapping 9 Enclosure

सिद्धान्तो में कणिकाओ की व्यक्तित्वहीनता क्या मान्य नही है क्योकि इसका सम्बन्ध आकाश के एक ही प्रदेश में दो कणिकाओ के एक साथ रहने की—कम-से-कम रह सकने की—सभावना से है और यह सभावना नवीन यान्त्रिकी की धारणाओ की ही विशेषता है।

यदि हम खड ३ और ४ के कुछ वक्तव्यो पर थोडा-सा विचार करें तो यह स्पष्ट हो जायगा कि कणिकाओ की व्यक्तित्व-हीनता, अपवर्जन-नियम और विनिमय-ऊर्जा इन तीनो रहस्यमय तथ्यो में घनिष्ठ सम्बन्ध है। इन तीनो की उत्पत्ति का कारण मूल भौतिक सत्ताओ को त्रिविमितीय आकाश-सातत्यक में अथवा अधिक व्यापक रूप से चतुर्विमितीय दिक्-काल सातत्यक में यथावत निरूपित करने की असभवता है। यदि किसी दिन हम इस ढाचे से छुटकारा पा जाय तो नवीन भौतिक विज्ञान के इन तीन महान पथ प्रदर्शक नियमो का जो रहस्य इस समय बिलकुल अभेद्य है उसका उद्घाटन करने मे शायद कुछ अधिक सफलता प्राप्त हो सके।

दूसरे दृष्टिकोण से यह कहा जा सकता है कि व्यष्टि की भौतिक धारणा निकाय की धारणा की परिपूरक[1] है (बोह्र के अर्थ में)। कणिका का व्यक्तित्व केवल उसी समय सुनिर्दिष्ट होता है जब वह बिलकुल अकेली हो। जैसे ही उसके और अन्य कणिकाओ के बीच में पारस्परिक क्रिया होने लगती है तैसे ही उसका व्यक्तित्व भी घट जाता है। सभवत चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्तो मे यह बात यथेष्ट रूप से स्पष्ट नही की गयी थी कि किसी निकाय की स्थितिज ऊर्जा की धारणा में यह बात भी निहित है कि निकाय की समस्त कणिकाओ की पूर्ण ऊर्जा के कुछ अश का स्थितिज ऊर्जा के रूप में, सकोषण[2] हो जाता है और यह उस निकाय के अवयवो के व्यक्तित्व को कुछ निर्बल कर देता है। नवीन यान्त्रिकी में तो यह समझा जाता है कि एक ही जाति की कणिकाएँ किसी-न किसी प्रकार एक ही समय में आकाश के एक ही प्रदेश में विद्यमान रहती है। अत वहा तो यह व्यक्तित्व बिलकुल ही लुप्त हो जाता है। पारस्परिक क्रियाहीन अकेली कणिकाओ से प्रारम्भ करके यदि हम उत्तरोत्तर परिवर्तन के द्वारा उपयुक्त निकायो के निर्माण पर विचार करें तो हम देखेंगे कि ज्यो-ज्यो निकाय का व्यक्तित्व प्रबल होता जाता है त्यो-त्यो कणिकाओ के व्यक्तित्व की धारणा अधिक-अधिक अस्पष्ट होती जाती है। अत ऐसा मालूम पडता है कि व्यक्ति और निकाय बहुत कुछ परिपूरक आदर्शीकरण[3] है। यह विचार ऐसा है जिसका सभवत अधिक सूक्ष्म और गहन समीक्षण वाछनीय है।

1 Complementary 2 Pooling 3 Idealisations

# उपसंहार

## अन्य कतिपय प्रश्न, जिनके सम्बन्ध में इस पुस्तक में विचार नहीं किया गया

### १ तरंग-यांत्रिकी और प्रकाश

हम देख चुके हैं कि प्रकाश के द्वैध स्वरूप के कारण ही तरंग-यांत्रिकी की मूल धारणाओं का प्रादुर्भाव हुआ था। फोटानों और प्रकाश-तरंगों की आनुषंगिकता पर विचार करने से जिन धारणाओं का जन्म हुआ था उन्हीं को द्रव्य पर विस्तारित करने से द्रव्य-कणों और उनकी ψ–तरंगों की आनुषंगिकता का विचार उत्पन्न हुआ था। प्रकाश के द्वैध स्वरूप से ही हमें इस पुस्तक में द्रव्य के द्वैध स्वरूप के स्पष्टीकरण में सहायता मिली है। ऐसी परिस्थिति में शायद यह बात लगभग निश्चित ही मालूम पड़े कि तरंग-यांत्रिकी के व्यापक ढांचे में ही प्रकाश के सिद्धान्त को भी स्वाभाविक रूप से स्थान मिल जायगा। यह बात चाहे कितनी ही विरोधाभासी क्यों न मालूम पड़े किन्तु सच तो यह है कि ऐसा बिल्कुल ही नहीं हो सकता। यह सत्य है कि तरंगों और कणिकाओं से सम्बन्धित राशियों में व्यापक अनुबन्ध स्थापित करने की पूरी सामर्थ्य तरंग-यांत्रिकी में थी। इन अनुबन्धों का विस्तृत विवरण हम परिच्छेद ८ के प्रारम्भ में कर चुके हैं। ये अनुबन्ध फोटानों और द्रव्य-कणिकाओं के लिए समान रूप से उपयुक्त हैं। किन्तु इनके आधार पर प्रकाश के सर्वांगपूर्ण सिद्धान्त के निर्माण में गंभीर कठिनाइयाँ उपस्थित हो गयीं। अनेक वर्ष पहले हाइजनबर्ग और पाउली ने क्वांटम क्षेत्र सिद्धान्त[1] की स्थापना करने का सुंदर प्रयास किया था। ये लोग [illegible] विद्युत्-चुम्बकीय सिद्धान्त का निर्माण करना चाहते थे कि जिसमें प्रकाश के क्वांटम सिद्धान्त को भी पूर्ण स्वाभाविक स्थान मिल जाय, किन्तु यद्यपि इस प्रयास की [illegible] सुन्दरता असंदिग्ध है और यद्यपि इसके अच्छे परिणाम चिरस्थायी भी रहेंगे तथापि इसे अनेक कठिनाइयों का सामना करना पड़ा था और उसमें प्रकाश के अंश का [illegible] नहीं हो

1 Quantum field theory

सका। इसी प्रकार के दूसरे सिद्धान्त का प्रतिपादन डिरैक ने और उसके बाद फरमी तथा अन्य लोगो ने किया था, किन्तु वह मूलत इससे अभिन्न नही था। इसमें फोटानो के अस्तित्व पर अधिक जोर दिया गया था और इस कारण यह सिद्धान्त भी बहुत चित्ताकर्षक था। किन्तु हमें तो ऐसा नही मालूम देता कि इसके द्वारा द्वैत का वाछित चित्र कुछ भी अधिक अच्छे रूप में प्रस्तुत हुआ हो।

इन कठिनाइयो के कारण कुछ भौतिकज्ञ तो द्वैत के सम्बन्ध म प्रकाश और द्रव्य की वास्तविक समिति के अस्तित्व म ही शका करने लगे है। इस बात म हमारा मत बिलकुल विपरीत है। द्रव्य और प्रकाश की जिस समिति के आधार पर तरग-यान्त्रिकी का विकास हुआ है, जो चित्त को इतना सतुष्ट करनेवाली है और जिसे हम इन नवीन सिद्धान्तो की सफलता का इतना गभीर कारण समझते ह उसे किसी भी मूल्य पर छोड देने के लिए हम राजी नही ह। इसीलिए पिछले कई वर्षो से हम प्रकाश की यथाथत द्वैतमयी धारणा के निकट पहुँचने का प्रयास करने में लगे हैं। हम इस प्रयास के सम्बन्ध में केवल थोड से ही शब्द कहेंगे क्योकि अभी तो यह दुस्साहस मात्र ही ह।

एक बात ऐसी है जिससे इनकार नही किया जा सकता। यद्यपि प्रकाश के द्वैत सिद्धात ने द्रव्य के द्वैत सिद्धान्त के निर्माण के लिए नमूने का काम दिया था, किन्तु अब वह इस नवीन सिद्धान्त से पीछे रह गया है। इस अद्भुत तथ्य के पीछे क्या रहस्य है? एक कारण तो निश्चय ही वह रूप है जो तरग-यान्त्रिकी ने अपनी तीव्र प्रगति के प्रारम्भ में धारण किया था। हम देख चुके हैं कि यह रूप आपेक्षिकीय नही था। अत उसका उपयोग केवल उन्ही कणिकाओ के लिए हो सकता था जिनका वेग प्रकाश-वेग की अपेक्षा बहुत कम हो। अत वह फोटानो के लिए उपयुक्त नही हो सकता था। इसके अतिरिक्त उसमें कोई भी समिति-घातक अवयव विद्यमान नही था, जिसके द्वारा किसी प्रकार का ध्रुवण निर्दिष्ट हो सके। इलक्ट्रान सिद्धान्त के नमूने पर फोटान सिद्धान्त का निर्माण न हो सकने का दूसरा कारण यह ह कि फोटान में कुछ गुण ऐसे होते ह जिनके द्वारा इलक्ट्रान से उसकी भिन्नता स्पष्ट प्रकट हो जाती ह। एक गुण तो यह ह कि बहु-सख्यक फोटानो का समूह बोस-आइन्स्टाइन साख्यिकी के नियमो का पालन करता है। इलक्ट्रानो के समान फरमी डिरक-साख्यिकी के नियमो का नही। दूसरे, प्रकाश-वैद्युत प्रभाव में फोटान लुप्त हो जाता है—उसका नाश हो जाता है। द्रव्य कणिकाओ मे ऐसा कोई गुण नही होता।

इन व्यापक अभ्युक्तियो से हम इस परिणाम पर पहुँचे कि फोटान के उपयुक्त सिद्धान्त का निर्माण करने के लिए सबस अधिक आवश्यकता एक तो इस बात की ह

कि तरंग-यांत्रिकी के ऐसे आपेक्षिकीय रूप का उपयोग किया जाय जिसमें भ्रमण के सदृश समिति-स्थानक अवयव विद्यमान हों और दूसरे उसमें कुछ ऐसी बात भी निविष्ट करने की आवश्यकता है जो फोटानों तथा इलेक्ट्रानों की भिन्नता को प्रकट कर सके। इस कार्यक्रम का प्रथम भाग तो डिरैक के सम्बन्धीय इलेक्ट्रान के सिद्धान्त के उपयोग से तुरन्त पूर्ण हो गया। इसका विवेचन हम पहले कर चुके हैं। यह विदित ही है कि डिरैक का सिद्धान्त सचमुच आपेक्षिकीय भी है और उसमें समिति-स्थानक अवयव भी विद्यमान हैं जिनका प्रकाश के भ्रमण से स्पष्टतः घनिष्ठ सम्बन्ध है। फिर भी केवल यह मान लेने से काम नहीं चल सकता कि फोटान भी डिरैक के सिद्धान्त के समीकरणों का पालन करनेवाली किन्तु उपेक्षणीय द्रव्यमानवाली कणिका है क्योंकि इस प्रकार फोटान का जो प्रतिरूप प्राप्त होगा उसकी समिति वास्तविक फोटान की अपेक्षा आधी कही जा सकती है। इसके अतिरिक्त ऐसा भी मालूम पड़ता है कि वह इलेक्ट्रान के समान ही फरमी डिरैक-सांख्यिकी के नियमों का पालन करेगा और प्रकाश-वैद्युत प्रभाव में वह नष्ट भी नहीं हो सकेगा। अतः अभी इस सिद्धान्त में कुछ और नयी बात निविष्ट करने की अत्यन्त आवश्यकता है। और इस नवीन बात के निरूपण का प्रयत्न हमने यह मान कर किया है कि प्रत्येक फोटान दो डिरैक-कणिकाओं के सम्मेलन से बना है—एक से नहीं। और तब यह भी स्वीकार करना पड़ता है कि ये दोनों कणिकाएँ अथवा अर्ध फोटान[1] परस्पर सपूरक[2] होंगे—उस अर्थ में जिसमें कि डिरैक के गर्तसिद्धान्त[3] के अनुसार धन इलेक्ट्रान ऋण इलेक्ट्रान का सपूरक होता है (परिच्छेद ११ खंड ५), न कि बोह्र द्वारा प्रतिपादित अर्थ में। सपूरक कणिकाओं का ऐसा युग्म द्रव्य के सम्पर्क में आने पर अपनी सब ऊर्जा का उत्सर्ग करके स्वयं नष्ट हो सकता है। इस बात से प्रकाश-वैद्युत प्रभाव की सब विशेषताओं की सन्तोषपूर्ण व्याख्या हो जाती है। इसके अतिरिक्त $\frac{h}{4\pi}$ के नर्तनवाली दो कणिकाओं द्वारा निर्मित होने के कारण फोटान को बोस-आइन्स्टाइन-सांख्यिकी के नियमों का पालन करना चाहिए। प्लांक के कृष्ण-वस्तु विकिरण के नियम की उत्कृष्ट यथार्थता की यही माँग है। अंत में फोटान के इस प्रतिरूप के द्वारा हम फोटान के नष्ट होने की प्रायिकता से सम्बद्ध ऐसा विद्युत-चुम्बकीय वल्-क्षेत्र भी निर्धारित कर सकते हैं जो मैक्सवेल के समीकरणों को सन्तुष्ट करता हो और जिसमें विद्युत्-चुम्बकीय प्रकाश-तरंग के सभी लक्षण विद्यमान हों।

1 Demi photons 2 Complementary 3 Theory of holes

यद्यपि इस प्रयास की सफलता के सम्बन्ध में कोई निश्चित मत प्रकट करने का समय अ
नहीं आया है तथापि इसमें कोई सन्देह नहीं कि इससे कई चित्ताकर्षक परिणाम नि
हैं और यह उन संपूरक कणिकाओं के समितीय गुणों की ओर हमारा ध्यान प्रबल रू
से आकर्षित करता है जिनके अस्तित्व का संकेत डिरैक के सिद्धान्त से मिला था औ
जिनकी वास्तविकता का धन इलेक्ट्रान के आविष्कार ने सत्यापित कर दिया है।*

## २ नाभिकीय भौतिक विज्ञान[1]

परमाणु के नाभिक[2] सम्बन्धी ज्ञान का विकास पिछले कुछ वर्षों में आश्चर्यजन
वेग से हुआ है और अतुल सम्पदा से परिपूर्ण नाभिकीय भौतिक विज्ञान का निर्माण इ
समय हो रहा है। अतः शायद यह बात कुछ विचित्र-सी लगे कि हम इतने महत्वपू
विषय पर इतनी देर से पहुँचे हैं। किन्तु हमारा विचार नाभिकीय भौतिक विज्ञान
की रूप रेखा देने का है ही नहीं। इसके दो कारण हैं। पहला कारण तो यह है कि इ
क्षेत्र में अभी हाल में ही इतने अधिक आविष्कार हुए हैं कि उनका अंशतः पूर्ण आभास
देने के लिए भी या तो हमें इस पुस्तक का एक द्वितीय भाग लिखना पड़ता या इसी क
औचित्य की सीमा से अधिक लम्बा कर देना पड़ता। दूसरा कारण यह है कि अभ
हमारा नाभिक सम्बन्धी ज्ञान बहुत कुछ प्रायोगिक ही है। नाभिकीय भौतिक विज्ञा
में सिद्धान्त की प्रगति अभी बहुत थोड़ी हुई है और जो कुछ हुई है वह भी अभी अस्थायी
अथवा अन्तःकालीन[3] ही है। बहुत सम्भव है कि नाभिक के कल्पनातीत छोटे-से प्रदे
में जो बहु-संख्यक कणिकाएँ संगृहीत और सम्मिश्रित पायी जाती हैं उनके आचरण
की व्याख्या करने के लिए नवीन यान्त्रिकी में भी कई परिवर्तन करने पड़ेंगे। कुछ
सिद्धान्त—यथा गैमो[4] का सिद्धान्त—जो चित्र प्रस्तुत करते हैं वे निश्चय ही अपरिष्कृ
योजना चित्र[5] मात्र हैं और इस प्रसंग में हाइज़नबर्ग का अत्यन्त विलक्षण प्रयास भी
अभी अपूर्ण प्रारूप[6] ही है।

* फुटनोट जो १९४९ में जोड़ा गया—इस पुस्तक की समाप्ति के बाद डिरैक फियर्ज़ (Fierz) तथा पौली की गवेषणाओं से और उन अन्य गवेषणाओं से जो आँरी प्वाँकरे इन्स्टीट्यूट (Henri Poincaré Institute) में मुख्यतः जिरार्ड पेतो (Gerard Petiau) तोनेला (M A Tonnelat) और स्वयं हमारे द्वारा सम्पन्न हुई थीं नव कणिकाओं के एक व्यापक सिद्धान्त का निर्माण हुआ है। फोटान की जिस तरंगमय यान्त्रिकी की रूप रेखा हमने यहाँ दी है वह इसी व्यापक सिद्धान्त का एक विशिष्ट रूप है।

1 Physics of the Nucleus 2 Nucleus 3 Provisional 4 Gamow
5 Schematic picture 6 Rough draft

[ हाइजनवग का यह सिद्धान्त अब मैसान बल-क्षेत्र के सिद्धान्त[1] के रूप मे पूणता का प्राप्त कर चुका है किन्तु अभी तक इसका विकास भी बहुत कुछ सशयापन्न ही है। (१९४६)]

वास्तव में नाभिकीय भौतिक विनान की अवस्था अभी तक ऐसी ही है जिसमें केवल तथ्या की सूची बनाकर आनुभविक[2] नियमा की स्थापना हा रही है। वाह्र के सिद्धान्त से पहले जो अवस्था स्पैक्ट्रम विज्ञान की थी वैसी ही अवस्था इस समय नाभिकीय विनान की है। किन्तु हमारा उद्देश्य ता ऐसी पुस्तक लिखने का था जिसमे मुख्यत समकालीन क्वाटम सिद्धान्ता का ही विवेचन किया जाय। अत हमने यही निश्चय किया कि यद्यपि नाभिकीय भौतिक विज्ञान का आज की वज्ञानिक प्रगति मे बडा महत्त्व है फिर भी हमे इसकी चचा केवल एक अतिम खड में ही करनी चाहिए।

इसलिए नाभिकीय विज्ञान-सम्बन्धी ज्ञान की आश्चयजनक वद्धि के विषय में थाडे से शब्द कहकर ही हम इस चर्चा को समाप्त कर दना चाहते है और समस्थानिका[3] तथा नाभिकीय नतन[4] के सदृश अय उतने ही महत्त्वपूण प्रश्ना के विषय मे कुछ भी नही कहना चाहते।

हमें विदित है कि जिस परमाणु का परमाणु क्रमाक Z हा उसके नाभिक मे एक प्राटान के आवेश की अपेक्षा Z-गुणा धन-आवेश होता है और उस परमाणु के लगभग पूरे द्रव्यमान का स्थान भी यही नाभिक होता है। बहुत समय तक ऐमा समझा जाता था कि परमाणु के नाभिक प्रोटाना और इलक्ट्राना द्वारा सघटित होते हैं और नाभिकाभ्यन्तरिक[5] इलैक्टाना की अपक्षा प्रोटाना की सख्या मे Z की अधिकता हाती है तथा लगभग समस्त द्रव्यमान प्राटाना के ही कारण होता है। नाभिक यौगिक[6] होता है यह धारणा बहुत-कुछ स्वात्सर्जिता के निवचन की दन है।

हेनरी बैक्रैल[7] द्वारा पूव प्रेक्षित स्वोत्सर्जिता का वास्तविक आविष्कार पियरे क्यूरी[8] और उनकी पत्नी तथा सहकारिणी श्रीमती मेरी स्क्लाडौस्का क्यूरी[9] ने किया था। स्वोत्सर्जी पदाथ वे भारी तत्त्व ह जिनके क्रमाक मेण्डलीफ[10] की सारणी मे सबस ऊँचे हैं (८३ से ९२ तक)।

इनका मुख्य लक्षण यह है कि वे स्वत ही अस्थायी होते है। अथात समय-समय पर ऐसे परमाणु के नाभिक का विस्फाट हा जाता है और वह अपभ्राष्ट हलके परमाणु में

1 Theory of the meson field 2 Empirical 3 Isotopes 4 Nuclear spin 5 Intra nuclear 6 Complex 7 Henri Becquerel 8 Pierre Curie 9 Mme Marie Sklodowska Curie 10 Mendelejeff

परिणत हो जाता है। इस विघटन[1] के साथ ही साधारणत उसमें से इलैक्ट्रान (बीटा किरणें)[2] आयनित हीलियम परमाणु (आल्फा किरणें)[3] और उच्च आवृत्ति का अयत वेधनशील विकिरण[4] (गामा किरणें[5]) उत्सर्जित होते हैं। इन घटनाओं का आविष्कार भौतिकज्ञों के लिए अत्यन्त रोचक था, क्योंकि इससे यह प्रमाणित हो गया था कि नाभिक वास्तव में यौगिक[6] कणिका होता है और दूसरे विघटन के द्वारा इस नाभिक में से अन्य सरलतर नाभिक उत्पन्न हो जाते हैं अर्थात् मध्य-युग के कीमियागर[7] जिस तत्त्वान्तरण[8] के स्वप्न देखा करते थे उसका भी प्रत्यक्ष अनुभव हो गया। दुर्भाग्यवश स्वोत्सर्जिता ऐसी घटना है जिस पर हम कोई प्रभाव अपनी इच्छा से नहीं डाल सकते। परन्तु हम इस घटना का केवल प्रेक्षण ही कर सकते हैं, किन्तु उसकी प्रक्रिया में कुछ भी परिवर्तन नहीं कर सकते। इसलिए स्वोत्सर्जिता के आविष्कार के बीस वर्ष बाद जब १९१९ में महान अंग्रेज भौतिकज्ञ लार्ड रदरफोर्ड को तत्त्वों के कृत्रिम विघटन में सफलता मिली तब इस घटना सम्बन्धी ज्ञान के विकास में सहसा बड़ी उन्नति हो गयी। हल्के परमाणुओं पर स्वोत्सर्जी पदार्थों से उत्सर्जित आल्फा-कणों की गोलाबारी[9] से उन्होंने उन परमाणुओं के नाभिकों को तोड़ने में सफलता प्राप्त कर ली। इससे सरलतर परमाणु प्राप्त हो गये और कृत्रिम तत्त्वान्तरण वास्तव में सम्पन्न हो गया।* १९३० के बाद लारेंस[10] द्वारा आविष्कृत[11] साइक्लोट्रोन[12] के सदृश विलक्षण और प्रबल यत्रों की सहायता से नाभिकीय तत्त्वान्तरण की प्रक्रियाओं के लिए आवश्यक गोलाबारी की उत्कृष्टता बड़ी शीघ्रता से बढ़ गयी है। इन अनुसधानों से ही जोलियो-क्यूरी[13] दम्पति ने एक महत्त्वपूर्ण आविष्कार कर लिया। उन्होंने यह प्रमाणित कर दिया कि कुछ गोलाबारी की क्रियाओं से अस्थायी नाभिक (कृत्रिम स्वोत्सर्जी तत्त्व) उत्पन्न हो जाते हैं जो बाद में स्वत ही विघटित होकर किसी दूसरे तत्त्व को तथा विविध प्रकार की किरणों को उत्पन्न कर देते हैं।

१९३१–३२ में न्यूट्रान[14] तथा धन इलेक्ट्रान या पाजीट्रान[15] नामक दो नवीन

1 Disintegration 2 β rays 3 α rays 4 Penetrating radiation 5 γ rays 6 Complex 7 Alchemist 8 Transmutation 9 Bombardment

*यहाँ से लेकर इस खड के अन्त तक की विषय-वस्तु पुस्तक के मूल संस्करण में नहीं थी। वह पैरिस से १९५१ में प्रकाशित लुइ दे ब्रोगली की L' Energie Atomic et Ses Applications नामक पुस्तक से ली गयी है।

10 Lawrence 11 invented 12 Cyclotron 13 Joliot Curie 14 Neutron 15 Positron

कणिकाओं के आविष्कार से नाभिकीय भौतिक विज्ञान में गंभीर परिवर्तन हो गया। बोथे तथा बेकर[1] के प्रयोगों से तथा चैडविक[2] के अनुसंधानों से सिद्ध हो गया कि ग्लूसीनियम[3] पर आल्फा-कणों की गोलाबारी करने से एक ऐसी कणिका—न्यूट्रान[4] उत्पन्न होती है जिसका अस्तित्व अब तक अज्ञात था और जो वैद्युतिक दृष्टि से अनाविष्ट होती है और जिसका द्रव्यमान लगभग प्रोटान के बराबर ही होता है। इसके बाद तो न्यूट्रान अनेक नाभिकीय प्रतिक्रियाओं में तथा अन्तरिक्ष किरणों में भी पाया गया है।

धन इलेक्ट्रान या पाज़ीट्रान साधारण इलेक्ट्रान के बराबर द्रव्यमानवाली कणिका होती है और इस पर आवेश इलेक्ट्रान के आवेश के बराबर किन्तु विपरीत चिह्नीय होता है। इसका आविष्कार एण्डरसन ने तथा ब्लैकेट तथा ओकियालिनी[6] ने अन्तरिक्ष किरणों में किया था। द्रव्य की उपस्थिति में पाज़ीट्रान अस्थायी होता है। वस्तुतः उसकी प्रवृत्ति द्रव्य में विद्यमान इलेक्ट्रानों के आवेश को नष्ट करने की है। एक पाज़ीट्रान तथा एक इलेक्ट्रान के यौगपदिक विनाश[7] से विकिरण का उत्सर्जन होता है। दो विजातीय इलेक्ट्रानों का यह विनाश वास्तव में द्रव्य का द्रव्यत्वविनाशन[8] ही है। इससे विपरीत घटना का भी अस्तित्व है। कुछ विशेष परिस्थितियों में विकिरण से भी विजातीय इलेक्ट्रानों के युग्म की सृष्टि के रूप में द्रव्यत्व-सृजन[9] हो सकता है। ये घटनाएँ और ऐसी ही अन्य घटनाएँ ऊर्जा के अवस्थितित्व[10] के सिद्धान्त के अनुकूल हैं। इनमें केवल उसका रूप थोड़ा बदल जाता है।

न्यूट्रान के आविष्कार के बाद हाइज़नबर्ग ने नाभिक की संरचना के सम्बन्ध में एक नया विचार प्रस्तुत किया था। अनुप्रयोगों की दृष्टि से पुरानी धारणाओं की अपेक्षा यह अत्यन्त उत्कृष्ट सिद्ध हुआ है।

इसके अनुसार नाभिक प्रोटानों और इलेक्ट्रानों के द्वारा नहीं किन्तु प्रोटानों और न्यूटानों के द्वारा संघटित होता है। प्राकृतिक अथवा कृत्रिम विघटनों में जो ऋण इलेक्ट्रान अथवा धन इलेक्ट्रान उत्पन्न होते हैं उनका कारण यह नहीं है कि ये इलेक्ट्रान नाभिक में पहले से ही विद्यमान थे जैसा कि उस समय तक समझा जाता था। वास्तविक कारण यह है कि या तो कोई नाभिकीय प्रोटान बदलकर न्यूटान बन जाता है या न्यूटान के रूपान्तरण से प्रोटान बन जाता है और इन क्रियाओं में एक धन या ऋण

1 Bothe and Becker 2 Chadwick 3 Glucinium 4 Neutron 5 Cosmic rays 6 Blackett and Occhialini 7 Annihilation 8 Dematerialisation 9 Materialisation 10 Inertia

इलेक्ट्रानों की सृष्टि हो जाती है। इस मत के अनुसार परमाणविक नाभिकों में मूलतः एक ही भारी कणिका 'न्यूक्लियान'[1] होती है और प्रोटान तथा न्यूट्रान इसी कणिका की दो अवस्थाएँ होती हैं —एक धनाविष्ट और दूसरी अनाविष्ट। आजकल का नाभिकीय सिद्धान्त इन्हीं विचारों पर आश्रित है और जिन नाभिकीय घटनाओं की चर्चा अब हम करेंगे उनकी प्रागुक्ति में इनसे बहुत सहायता मिली है।

अब हम उस ऊर्जा के उपयोग को अधिक स्पष्ट कर देना चाहते हैं जो पारमाणविक ऊर्जा[2] कहलाती है किन्तु जिसे वास्तव में नाभिकीय ऊर्जा[3] कहना चाहिए क्योंकि यह पूरे परमाणु में व्याप्त नहीं रहती, किन्तु केवल केन्द्रीय नाभिक में ही संचित रहती है। दीर्घकाल से मनुष्य को उस ऊर्जा के उपयोग की विधि मालूम है जो परमाणुओं की पारस्परिक प्रतिक्रिया से उस समय प्रकट होती है जब परमाणुओं के संयोजन से नये अणु बनते हैं या जब पहले से विद्यमान अणु के विघटन से परमाणु अलग-अलग हो जाते हैं (रासायनिक ऊर्जा[4])। परमाणुओं के संयोजित अवस्था के ये रूपान्तरण बहुधा ऊष्मा क्षेपक[5] होते हैं अर्थात् उनमें ऊष्मा की उत्पत्ति होती है और हम इस ऊर्जा का लाभदायक उपयोग कर सकते हैं। इसका सरलतम उदाहरण दहन[6] द्वारा आक्सीकरण[7] है जिसे हम "जलना" कहते हैं और जिसके आविष्कार ने आद्य-मानव के इतिहास में निस्सन्देह ही अत्यन्त वास्तविक मोड़ लिया था। नाइट्रो-ग्लीसरीन[8] और टी० एन० टी०[9] जैसे प्रचण्ड विस्फोटक पदार्थों के आविष्कार ने हमें यह भी सिखा दिया था कि अत्यन्त ध्वंसकारी प्रभावों को उत्पन्न करने योग्य ऊर्जा की प्रचुर मात्रा स्वल्प काल में किस प्रकार प्राप्त की जा सकती है। किन्तु इन सब बातों का सम्बन्ध तो केवल रासायनिक ऊर्जा से है जो उन घटनाओं से उत्पन्न होती है जो परमाणु की बाह्य सीमा के निकट घटती हैं और जिनसे केवल परमाणुओं के पारस्परिक बन्धनों का ही परिवर्तन होता है।

तब पारमाणविक ऊर्जा कहलानेवाली इस नवीन प्रकार की उपयोज्य ऊर्जा की विशेषता क्या है? यह विशेषता इस बात में है कि इस ऊर्जा का उद्गम परमाणु का वह सीमान्त प्रदेश नहीं है जहाँ आणविक बन्धन बनते और बिगड़ते हैं किन्तु वह अन्तरतम[10] प्रदेश है जो नाभिक कहलाता है। हम बता चुके हैं कि लगभग ४० वर्षों से हमें मालूम है कि प्रत्येक परमाणु के केन्द्र में एक नाभिक होता है जो उस परमाणु के रासायनिक

1 Nucleon 2 Atomic energy 3 Nuclear energy 4 Chemical energy 5 Exothermic 6 Combustion 7 Oxidation 8 Nitro glycerine 9 T N T 10 Innermost

विशिष्टता का निर्धारित करता है और जिसमें उसके द्रव्यमान का अधिकांश भाग अवस्थित होता है। इस नाभिक के चारों ओर वे अपेक्षाकृत छोटे किन्तु नाभिकीय परिमाण की अपेक्षा अत्यन्त बड़े प्रदेश में सीमान्तवर्ती इलेक्ट्रान परिभ्रमण करते हैं। परमाणु के इसी बाह्य प्रदेश के भीतरी भाग में वे प्रक्रियाएँ होती हैं जिनसे एक्स किरण का उत्सर्जन होता है और इसी का बाहरी भाग दृश्य विकिरण का तथा रासायनिक घटनाओं की प्रचलित प्रतिक्रियाओं का उद्गम स्थान है। हम पहले ही स्पष्ट कर चुके हैं कि दीर्घकालीन प्रयत्न के बाद भी पारमाणविक नाभिकों की आभ्यन्तरिक संरचना का स्पष्टतः समझने में असफल होने पर भौतिकी अन्त में इस परिणाम पर पहुँचे थे कि नाभिक को एक संयुक्त निकाय समझना चाहिए जो दो प्रकार की कणिकाओं—प्रोटानों और न्यूट्रानों—के सम्मेलन द्वारा निर्मित होता है और ज्यों-ज्यों परमाणु तथा नाभिक का भार बढ़ता जाता है त्यों-त्यों इन कणिकाओं की संख्या भी बढ़ती जाती है। इन निकायों की संरचना यथार्थतः कैसी होती है और उन्हें स्थायित्व प्रदान करनेवाले बल किस प्रकार के होते हैं इत्यादि बातों का ज्ञान तो अभी प्रारम्भिक अवस्था में ही है। नाभिक की इन आभ्यन्तरिक घटनाओं को समझने के लिए अभी उसमें बहुत उन्नति करने की आवश्यकता है। किन्तु जिस बात का निश्चित ज्ञान हुए अधिक वर्ष नहीं हुए वह यह है कि परमाणुओं के सीमान्तवर्ती परिवर्तनों के द्वारा—विशेषकर रासायनिक प्रतिक्रियाओं के द्वारा—हमें जितनी ऊर्जा प्राप्त हो सकती है उससे बहुत ही अधिक ऊर्जा हमें इन सम्भाव्य नाभिकीय रूपान्तरणों से प्राप्त हो सकती है और जब इन रूपान्तरणों की संख्या अधिक हो तो यह ऊर्जा अन्त में ऊष्मा के रूप में प्रकट हो जाती है। यह स्मरण रहे कि इसका यह अर्थ नहीं है कि केवल एक ही नाभिक के तत्त्वान्तरण से जो ऊर्जा हमें प्राप्त हो सकेगी उसकी मात्रा बहुत अधिक होगी। वस्तुतः जितनी ऊर्जा का हम कोई लाभदायक उपयोग कर सकते हैं उसकी अपेक्षा यह एक नाभिक से प्राप्त ऊर्जा बहुत ही कम होगी। किन्तु जितनी ऊर्जा आणविक रूपान्तरण[1] की अकेली एक प्रक्रिया से उत्पन्न हो सकती है उससे तो यह बहुत ही ज्यादा होगी। फिर भी यद्यपि हमें दीर्घकाल से ऐसी रासायनिक प्रक्रियाएँ ज्ञात थीं जिनसे सहसा इतनी अधिक ऊर्जा उत्पन्न हो सकती है कि मानवीय मापदंड से उसके परिणाम भयंकर हो सकते हैं तथापि नाभिकीय रूपान्तरण के द्वारा प्रचुर मात्रा में ऊर्जा की प्राप्ति केवल पिछले ६ वर्षों में ही हो सकी है। इसका क्या कारण है?

1 Molecular transformation

साधारणत जब किसी बडी द्रव्य राशि में कोई रासायनिक प्रतिक्रिया प्रारम्भ होती है तो वह उस समस्त राशि में फैल जाती है। इस प्रक्रिया का प्रारम्भ तो केवल थोडे-से परमाणुओ से ही होता है किन्तु बहुधा यह बडे वेग से फैलकर असख्य प्रतिवेशी परमाणुओ को ग्रस्त कर लेती है। प्रत्येक परमाणु में से तो बहुत ही थोडी ऊर्जा निकलती है, किन्तु अरबो-खरबो परमाणुओ में से निकलनेवाली सम्पूर्ण ऊर्जा का परिमाण उपयोज्य ही नही, भीषण भी हो जाता है। किन्तु यद्यपि १९१९ में किये गये रदरफोड के विख्यात प्रयोग के समय से ही हमें यह ज्ञात हो गया था कि नाभिका के आभ्यन्तरिक रूपान्तरण अथवा कृत्रिम तत्त्वान्तरण किस प्रकार सपन्न हो सकते ह तथापि उस समय समस्त द्रव्यराशि में केवल थोडे-से नाभिका का ही रूपान्तरण वस्तुत हो पाता था। इसमे सन्देह नही कि रासायनिक प्रतिक्रिया से प्रत्येक परमाणु में से जितनी ऊर्जा प्राप्त हो सकती है उसकी अपेक्षा प्रत्येक नाभिक में से बहुत अधिक ऊर्जा प्राप्त होती थी। किन्तु इन तत्त्वान्तरणा से प्राप्त सपूर्ण ऊर्जा अत्यन्त नगण्य होती थी क्योकि थोडे स नाभिका पर की गयी क्रिया पूरी द्रव्यराशि में फैलती नही थी।

१९३८-३९ में यूरेनियम के विखडन[1] के महत्त्वपूर्ण आविष्कार ने यह स्थिति बिलकुल बदल दी। इस पृथ्वी मे जितने स्थायी रासायनिक तत्त्व ह उनमें यूरेनियम सबसे भारी ह अर्थात उसके परमाणु का द्रव्यमान महत्तम है। उसके नाभिक में ९२ प्रोटान होते ह क्योकि उसका परमाणु क्रमाक[2] Z=९२ है और उसके विभिन्न समस्थानिको में १४० से १४६ तक न्यटान होते हैं। इसकी सरचना बडी जटिल है और थोडी-बहुत अस्थायी भी ह। इस अस्थायित्व के कारण ही उसमें स्वत ही विघटित होने की प्रवत्ति होनी है और यही उसकी प्रकृत स्वोत्सर्जिता का कारण ह। १९३८ ३९ में हान[3] माइटनर[4] स्ट्रासमैन[5] फ्रिश[6] और जोलियो-क्यूरी[7] की गवेषणाओ से एक नवीन महत्त्वपूर्ण नाभिकीय घटना का—यूरेनियम के विखडन या विदलन[8] का—आविर्भाव हुआ। पहले तो यह देखा गया कि यूरेनियम पर न्यूट्रानो की गोलाबारी करने से यूरेनियम के नाभिक का विघटन हो जाता है। इसके विषय में पहले यह समझा गया कि आपतित न्यूटान यूरेनियम के नाभिक में समाविष्ट हो जाता है और उसमें से इलैक्ट्रानो का उत्सजन हो जाता है। इसी से ऐसे उत्तर-यूरेनियम[9] तत्त्वो के अस्तित्व की घोषणा की गयी जिनके परमाणु क्रमाक ९२ स अधिक हागे और जिनके कारण मेण्डलीफ श्रेणी यूरेनियम से आगे की तरफ बढ जायगी। किन्तु ऐसे तत्त्व

1 Fission 2 Atomic number 3 Hahn 4 Meitner 5 Strassmann 6 Frisch 7 Joliot Curie 8 Splitting 9 Trans uranic

साधारणत प्रकृत जगत् में उपलब्ध नही हाते । इसके बाद अन्य गवेषणाओ से (फ्रास में मुख्यत जालियो-क्यूरी की गवेषणाओ से) यह प्रमाणित हो गया कि जब किसी विशेष प्रकार के यूरेनियम नाभिका पर न्यूटानो की टक्कर लगती ह तब इन नाभिका के लगभग बराबर भार के दो टुकडे होकर दो नये नाभिका की सृष्टि हो जाती ह । यूरेनियम-नाभिक का ऐसा विस्फोट अनेक प्रकार से हो सकता ह और विभिन्न परिस्थितियो मे जो नवीन नाभिक उत्पन्न होते ह वे स्वय भी अस्थायी होते हैं और बाद मे उनका भी तत्त्वान्तरण हो जाता ह और उनमें से धन अथवा ऋण इलैक्टानो का उत्सर्जन भी होता हैं।

यूरेनियम के विखडन के आविष्कार के बाद कुछ समय तक ऐसा समझा जाने लगा कि यूरेनियम-नाभिक पर न्यूटान की टक्कर से उत्तर-यूरेनियम तत्त्वो की उत्पत्ति सभव है, यह धारणा बिल्कुल गलत थी । किन्तु इस समस्या के अधिक गभीर अध्ययन मे प्रकट हुआ कि वास्तव में यूरेनियम पर न्यूटानो की बौछार करने से दोनो ही काम होते ह । विखडन भी होता ह और उत्तर-यूरेनियम तत्त्वो की सृष्टि भी होती हैं। इस बात को समझने के लिए हमें समस्थानिको की धारणा का सहारा लेना पडेगा। यूरेनियम प्रकृति मे जिस रूप मे पाया जाता ह उसमे दो समस्थानिको का मिश्रण होता हैं। दोनो का ही परमाणु क्रमाक ९२ होता ह। बहुलतर[1] समस्थानिक $U_{238}$ का परमाणु भार २३८ होता है और उसके नाभिक मे ९२ प्रोटान तथा १४६ न्यूट्रान होते ह। दूसरे समस्थानिक $U_{235}$ का परमाणु भार २३५ होता है। उसके नाभिक मे प्रोटानो की सख्या तो उतनी ही (९२) होती ह किन्तु न्यूट्रानो की सख्या केवल १४३ ही होती ह। यह प्राकृतिक यूरेनियम मे अत्यन्त छोटे अनुपात (७/१०००) में उपस्थित रहता ह। यह विरल समस्थानिक बिलकुल अस्थायी होता है और न्यूटानो की टक्कर से इसी के नाभिक के विस्फोट से विखडन की घटना की उत्पत्ति होती ह। बहुल $U_{238}$ के नाभिक में एक न्यूटान समाविष्ट हो जाता हैं जिससे एक नवीन यूरेनियम नाभिक $U_{239}$ बन जाता है। इसका परमाणु क्रमाक अब भी ९२ ही रहता ह, किन्तु उसमें न्यूट्रानो की सख्या १४७ हो जाती है। फलत परमाणु भार २३९ हो जाता ह। यह नवीन नाभिक अस्थायी होता ह। इसके विघटन से एक इलक्ट्रान उत्पन्न होता है और एक नवीन नाभिक भी उत्पन्न होता हैं जिसका परमाणु क्रमाक ९३ और परमाणु-भार २३९ होता है (९३ प्रोटान और १४६ न्यूटान)। इस प्रकार एक ऐसे नवीन तत्त्व

1 More abandant

की सृष्टि हो जाती है जिसका प्रकृति में अस्तित्व होता ही नहीं। इसका नाम नेप्ट्यूनियम[1] रख दिया गया है। प्राकृतिक यूरेनियम पर न्यूट्रानों की बौछार से उत्पन्न नेप्ट्यूनियम नाभिक $Np_{239}$ भी आपतित न्यूट्रान का अवशोषण करके नेप्ट्यूनियम के भारी समस्थानिक $Np_{240}$ के नाभिक को जन्म दे सकता है जिसका परमाणु क्रमांक तो ९३ ही रहता है किन्तु परमाणु भार २४० हो जाता है। यह भारी नेप्ट्यूनियम भी अस्थायी होता है। इसके विघटन से एक इलक्ट्रान उत्पन्न होता है और एक प्लूटोनियम[2] का नाभिक जिसका परमाणु क्रमांक ९४ और परमाणुभार २४० होता है। यह दूसरा उत्तर-यूरेनियम तत्त्व है। संक्षेप में प्राकृतिक यूरेनियम पर न्यूट्रानों से गोलाबारी करने से विरल $U_{235}$ का तो विखंडन होता है और बहुल $U_{238}$ से उत्तरोत्तर नेप्ट्यूनियम तथा प्लूटोनियम बन जाते हैं।

ये सब बातें मालूम हुए दस वर्ष से भी अधिक हो गये हैं। और इसके बाद हमें ९४ से भी अधिक परमाणु क्रमांकवाले अन्य उत्तर-यूरेनियम नाभिक बनाने में भी सफलता मिल गयी है। ये निम्नलिखित हैं—अमेरीशियम[3] (Z=९५), क्यूरियम[4] (Z=९६) बर्कीलियम[5] (Z=९७), कैलिफार्नियम[6] (Z=९८), एथीनियम[7] (Z=९९) और शायद शीघ्र ही प्राप्त हो जायगा सेंट्यूरियम[8] (Z=१००)। ये सब नाभिक बहुत ही अस्थायी होते हैं और प्राकृतिक स्वोत्सर्जिता के कारण ये विघटित हो जाते हैं। संभव है कि सृष्टि के प्रारम्भ में इनका अस्तित्व प्रकृत जगत में रहा हो किन्तु प्राकृतिक स्वोत्सर्जिता के कारण बहुत शीघ्र ही इनका नाश हो गया होगा। बीसवीं शताब्दी के मध्य में मनुष्य इन विलुप्त तत्त्वों के पुनःसृजन में सफल हो गया है। यह बात आश्चर्यजनक है कि मानव-बुद्धि इस जगत् के विकास की प्राकृतिक धारा को कम-से-कम इस पृथ्वी पर परिवर्तित करने में समर्थ हो गयी है।

अब फिर नाभिकीय ऊर्जा पर लौट आइए। विखंडन के आविष्कार से पहले उपर्युक्त नाभिकीय प्रतिक्रियाओं में भाग लेनेवाले परमाणु-नाभिकों की संख्या बहुत थोड़ी होती थी और इन प्रतिक्रियाओं में इतनी सैद्धांतिक मनोहरता होने पर भी वे केवल प्रयोगशाला का तामाशा ही समझी जाती थीं। उनका कोई व्यावहारिक उपयोग नहीं था। किन्तु १९३९ में भौतिकज्ञों ने इस बात को समझ लिया कि उनके सामने एक भयानक नवीन संभावना उपस्थित हो गयी है। बात यह है कि जब विखंडन की

1 Neptunium 2 Plutonium 3 Americium 4 Curium 5 Berkeleyum 6 Californium 7 Athenium 8 Centurium

घटना मे नये न्यूट्रानो की भी उत्पत्ति होती है तो इन नये न्यूट्रानो से भी अन्य प्रति वशी परमाणुओ का विखडन सभव होना चाहिए। अत यदि परिस्थिति अनुकूल हो तो यूरेनियम में विद्यमान अन्य $U_{235}$ के परमाणुओ मे भी यह विखडन शृखला क्रम[1] से फैल सकना चाहिए। किन्तु प्रत्येक विखडन की क्रिया से एक अर्ग[2] के तीन करोडवे भाग के बराबर गतिज ऊर्जा उन्मुक्त होती है और यह ऊष्मा में परिवर्तित हो सकती है। यह ऊर्जा विखडित नाभिक की ऊर्जा मे से ही प्राप्त होती है। इस ऊर्जा की मात्रा तो अत्यन्त स्वल्प होती है किन्तु यदि यह विखडन पूरे यूरेनियम-पुज में फैल जाय तो सपूर्ण उन्मुक्त ऊर्जा का परिमाण बहुत ही बडा हो सकता है। इस प्रकार एक किलोग्राम विरल $U_{235}$ के विखडन से, नाभिको की अति बहुत सख्या के कारण, इतनी अधिक ऊष्मा उत्पन्न हो सकती है कि जिससे दस लाख टन पानी का टेम्परेचर ० से बढकर १०० C हो जाय। सिद्धान्तत इस क्रिया के द्वारा डाइनेमाइट[3] जैसे प्रचड विस्फोटक से भी दस लाख गुणा प्रचड विस्फोटक हमें प्राप्त हो सकता है।

किन्तु अभी इस भयकर सभावना को वास्तविकता मे परिणत करने का काम बाकी था। अधिक विस्तार में न जाकर हम केवल इतना ही कहेगे कि इस प्रयत्न ने दो मार्गो का अनुसरण किया। (1) प्राकृतिक यूरेनियम में जो विरल समस्थानिक $U_{235}$ अत्यन्त स्वल्प अनुपात मे वर्तमान रहता है उसका पृथक्करण। इसका उद्देश्य यह था कि हमें ऐसा पदार्थ मिल जाय जिसमें विखडित हो सकने योग्य नाभिक बहुत बडी सख्या मे विद्यमान हो। (ii) $U_{238}$ पर न्यूट्रानो की क्रिया से प्लूटोनियम का उत्पादन। यह प्लूटोनियम भी $U_{235}$ के समान ही विखडित हो सकता है। अत यह भी पारमाणविक बम बनाने के काम मे आ सकता है। $U_{235}$ और प्लूटोनियम दोनो के ही बम बनाये गये। हिरोशिमा[4] पर जो बम डाला गया था वह शायद प्रथम प्रकार का था और नागासाकी[5] वाला बम शायद द्वितीय प्रकार का था। पिछले युद्ध की समाप्ति के बाद बम बनाने की इन विधियो में निष्पन्नता प्राप्त हो गयी है और जो समाचार मिले है उसके अनुसार अब एक नवीन प्रकार के बम का निर्माण होने ही वाला है जिसमें हाइड्रोजन जैसे हलके परमाणु के समस्थानिक के नाभिक के तत्वान्तरण का उपयोग किया जायगा। यही विख्यात हाइड्रोजन बम होगा।*

1 Chainwise 2 Erg 3 Dynamite 4 Hiroshima 5 Nagasaki

*अब यह हाइड्रोजन बम निस्सन्देह बन चुका है।

ग्रीक दार्शनिकों की सरल कल्पनाओं से प्रारम्भ करके हमने परमाणु-गर्भ में छिपी हुई ऊर्जा पर मानव-आधिपत्य प्राप्त कर लिया है। पारमाणविक ऊर्जा का मानव हित के लिए उपयोग करने की सभावना ने मानव इतिहास में एक नवीन युग की स्थापना कर दी है। मानव-बुद्धि सच्चा अभिमान कर सकती है कि गभीर और अनवरत प्रयास के द्वारा द्रव्य की आभ्यन्तरिक सरचना के रहस्य का उद्घाटन करने में उसने इतनी सफलता प्राप्त कर ली है कि ऊर्जा का जो खजाना उसमें सचित है उसका उपयोग अब हम कर सकते हैं। इस दृष्टि से वैज्ञानिकों के जिस शताब्दियों-व्यापी परिश्रम ने उन्हें द्रव्य की असतत सरचना से अधिकाधिक स्पष्ट रूप से परिचित कर दिया है उसकी गाथा एक महाकाव्य है जिसको अब तो दिव्यत्व भी प्राप्त हो गया है।

# लूई दे ब्रोगली का संक्षिप्त जीवनवृत्त

तरंग-यान्त्रिकी के स्रष्टा लूई-द-ब्रागली एक विश्व विख्यात वैज्ञानिक हैं, जिनकी भौतिक विज्ञान सम्बन्धी सैद्धान्तिक गवेषणाओं तथा उनकी आदरणीय मौलिक प्रतिभा ने आधुनिक भौतिक विज्ञान का अति गम्भीर रूपान्तर कर दिया है और उन्हें इस समय के अग्रगण्य वैज्ञानिकों में प्रतिष्ठित कर दिया है।

उनका जन्म फ्रांस के दीप' नगर में १८९२ में हुआ था। [illegible] जात कुल के वंशज हैं। उनकी माध्यमिक शिक्षा पेरिस में [illegible] में पूरी [illegible] और १९०९ में वे पेरिस विश्वविद्यालय से इतिहास में स्नातक हुए [illegible] में रुचि होने के कारण इतिहास और प्राचीन [illegible] वे पुन पेरिस विश्वविद्यालय में लौट गए और १९१३ में [illegible] हो गये।

जिनका अध्ययन चिर प्रतिष्ठित यान्त्रिकी में किया जाता है उनमें तो कणिकाओं के गुणों का ही लगभग पूर्ण प्राधान्य रहता है किन्तु परमाणु-स्तरीय कणिकाओं में तरंगीय गुण प्रमुख हो जाते हैं। अपने सिद्धान्त की गंभीर क्रान्तिकारी धारणाओं से भयभीत होकर उन्होंने अनेक परिकल्पनाओं के द्वारा चिर प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान के परम्परागत नियतिवादी निर्वचनों को सुरक्षित रखने का प्रयत्न किया। किन्तु विकट कठिनाइयों के कारण उन्हें ऐसे प्रायिकत्व मूलक तथा नियति-वर्जक[1] निर्वचनों का समर्थन करने के लिए बाध्य होना पड़ा जिनमें चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकी को किसी अधिक व्यापक तरंग यान्त्रिकी का केवल एक विशेष रूप माना जाता है। चार वर्ष बाद इन सिद्धान्तों का प्रायोगिक सत्यापन बैल-टेलीफोन[2] की प्रयोगशाला में कुछ अमरीकी भौतिकज्ञों द्वारा सम्पन्न हुआ जिन्होंने देखा कि इलैक्ट्रानों और प्रोटानों के सदृश पारमाणविक कणिकाओं में उनकी आनुषंगिक तरंगों के कारण प्रकाश और एक्स किरणों के समान ही विवर्तन की घटना का अस्तित्व होना चाहिए। बाद में इन्हीं विचारों का व्यावहारिक उपयोग चुम्बकीय लैन्सों[3] के विकास में हुआ जिन पर इलक्ट्रान सूक्ष्मदर्शक[4] आधारित है।

१९२९ में लुई-दे-ब्रोगली को नोबल पुरस्कार मिला और उसी वर्ष 'फ्रेंच एकेडमी आफ साइन्सेज (फ्रांसीसी वैज्ञानिक अकादमी) ने उन्हें आरी प्वाकरे-पदक[5] प्रदान किया। यह पदक उसी वर्ष प्रथम बार प्रदान किया गया था। १९३३ में ये उस अकादमी के सभासद भी निर्वाचित हो गये और १९४२ में एमील पिकार[6] के स्थान में उसके चिर स्थायी मंत्री भी नियुक्त हो गये।

इसके अतिरिक्त १९२६ से वे शिक्षण सम्बन्धी मामलों में भी कार्य कर रहे हैं। १९२८ में उन्होंने पेरिस के सारबोन[7] में और हैमबुर्ग[8] विश्वविद्यालय में कई व्याख्यान दिये और आरी प्वाकरे इन्स्टीट्यूट में व सैद्धान्तिक भौतिकी के प्रधानाध्यापक नियुक्त किये गये और उनके ही प्रयत्न से यह संस्था समकालीन भौतिक सिद्धान्तों के अध्ययन के लिए एक केन्द्र बन गयी। विज्ञान और शिल्प में सहयोग की कमी के कारण जो कठिनाइयाँ उत्पन्न हो गयी थीं उन्हें दूर करने की इच्छा से १९४३ में उन्होंने प्वाकरे इन्स्टीट्यूट की एक और शाखा की स्थापना की जिसका उद्देश्य अनुप्रयुक्त यान्त्रिकी[9] का अध्ययन था। विज्ञान के व्यावहारिक अनुप्रयोगों में उनकी रुचि उनका

1 Indeterministic 2 Bell T[illegible] 3 Magn[illegible] [illegible] Electron microscope 5 Henri Poincar[illegible] [illegible] Em[illegible] [illegible] Sorbonne 8 Hamburg 9 Appl[illegible]d Mech[illegible]

कुछ हाल की पुस्तकों में भी प्रकट होती है जो 'कणिका-त्वरित्रों'[1] 'तरंग प्रणालों'[2], 'परमाणविक ऊर्जा'[3] तथा 'साइबरनेटिक्स'[4] आदि विषयों पर लिखी गयी है।

लुई-द-ब्रागली ने परमाणविक कणिकाओं तथा प्रकाश विज्ञान पर महत्त्वपूर्ण वैज्ञानिक पुस्तकें प्रकाशित की है। यथा—एक्स किरणों तथा गामा किरणों पर अपने भाई के सहयोग से लिखी हुई पुरानी पुस्तक, तरंग-यांत्रिकी पर मौलिक अनुसंधान पत्र तथा परमाणविक तथा नाभिकीय सिद्धान्तों पर उच्च कोटि की पाठ्य पुस्तकें। इन नवीन सिद्धांतों के दार्शनिक पक्षों का विवेचन उन्होंने अपने व्याख्यानों और लोकप्रिय पुस्तकों में किया है। इस क्षेत्र में उनकी नवीनतम पुस्तक आधुनिक भौतिक विज्ञान के १९११ की प्रथम भौतिकीय सॉल्वे कांग्रेस[5] से लेकर आज तक के इतिहास के विषय में लिखी गयी है।

उनके साहित्यिक कार्य के कारण १९४५ में वे फ्रांसीसी अकादमी[6] के सदस्य निर्वाचित हुए। वे फ्रांसीसी वैज्ञानिक लेखक संघ[7] के सम्मानित सभापति हैं और १९५२ में उन्हें वैज्ञानिक लेखन की उत्कृष्टता के लिए कलिंग प्रतिष्ठान[8] द्वारा प्रदत्त प्रथम पुरस्कार मिला था।

जब १९४५ में फ्रांसीसी सरकार ने परमाणविक ऊर्जा के उच्च आयोग[9] की स्थापना की तो लुई-द-ब्रागली उसके तकनीकी परामर्शदाता नियुक्त किये गये और जब १९५१ में उस आयोग का पुनः संघटन हुआ तब भी वे परामर्शदात्री वैज्ञानिक कौंसिल[10] के मेम्बर बने रहे।

1 Particle accelartors 2 Wave guides 3 Atomic enrgy 4 Cybernetics 5 First Solway Congress of Physics 6 French Academy 7 French Association of Sceince Writers 8 Kalinga Foundation 9 High Commission for Atomic Energy 10 Advisory Scientific Council

# कालानुक्रमणिका

बीसवीं शताब्दी की क्वाटम तथा पारमाणविक सिद्धान्तों के विकास सम्बन्धी महत्त्वपूर्ण घटनाओं की कालानुक्रमणिका।

१९०१—कृष्ण विकिरण की क्वाटम परिकल्पना। आधुनिक भौतिकी में क्वाटम की धारणा का प्रथम प्रादुर्भाव (प्लाक)।

१९०५—विशिष्ट आपेक्षिकता का सिद्धान्त (आइन्स्टाइन)।

—प्रकाश-वैद्युत प्रभाव की प्रकाश-क्वाटम (फोटान) के द्वारा व्याख्या (आइन्स्टाइन)।

१९०७—विशिष्ट-ऊष्मा का क्वाटमीय निर्वचन (आइन्स्टाइन तथा डिबाई)।

१९१०—परमाणु का ग्रहीय प्रतिरूप (रदरफोर्ड)।

१९१३—परमाणु के ग्रहीय प्रतिरूप का सैद्धान्तिक आधार और स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की व्याख्या (बोह्र)।

—समस्थानिकों का आविष्कार (टामसन)।

१९१६—आपेक्षिकता का व्यापक सिद्धान्त (आइन्स्टाइन)।

*—पुराने क्वाटम सिद्धान्त की पराकाष्ठा (सामरफेल्ड तथा विल्सन)।*

—आनुरूप्य नियम का प्रतिपादन (बोह्र)।

१९१९—कृत्रिम स्वोत्सर्जिता (रदरफोर्ड)।

१९२३—काम्पटन प्रभाव का आविष्कार और निर्वचन (काम्पटन तथा डिबाई)।

—द्रव्य-कणिकाओं की तरंगीय प्रकृति की परिकल्पना (दे ब्रोगली)।

—प्रकाश के वर्ण विक्षेपण का क्वाटम सिद्धान्त (क्रामर्स, हाइजनबर्ग)।

१९२५—क्वाटम-यान्त्रिकी अथवा मैट्रिक्स-यान्त्रिकी (हाइजनबर्ग)।

—इलैक्ट्रान के नर्तन की परिकल्पना (उहलनबैक तथा गूडस्मिट)।

१९२७—अनिश्चितता के अनुबन्धों का प्रकाशन (हाइजनबर्ग)।

—द्वि-साधन सिद्धान्त और नाविक-तरंग सिद्धान्त (दे ब्रोगली)।

—तरंग-यान्त्रिकी का परिशुद्ध रूप (दे ब्रोगली श्रोडिंगर)।

—इलेक्ट्रान विवर्तन का प्रायोगिक प्रमाण और द्रव्य-कणों की तरंगीय प्रकृति (डेविसन तथा गमर)।

१९२८—परमाणु-नाभिकों का क्वाटम सिद्धान्त (सुरंग प्रभाव) (गमो)।

१९३०—इलेक्ट्रान का सम्पूर्ण आपेक्षिकीय सिद्धान्त (डिरक)।

१९३१—न्यूट्रान का आविष्कार (बोथे बेकर चेडविक)।

१९३२—पाजीट्रान का आविष्कार (एण्डरसन ब्लैकेट तथा आकियालिनी)।

१९३५—मेसानों के अस्तित्व की परिकल्पना (युकावा)।

१९३८—यूरेनियम का विखंडन (हान स्ट्रासमन इत्यादि)।

१९४२—प्रथम स्वतःपालित पारमाणविक शृंखलित प्रतिक्रिया (फरमी इत्यादि)।

१९४६—नाभिकीय उन्मजन का मध्यान-क्षय सिद्धान्त (हाइजनबर्ग)।

१९४८—मेसानों का कृत्रिम उत्पादन (गार्डनर तथा लटस)।

१९५२—क्वाटम प्रक्रियाओं के नियतिवादी निर्वचन का पुनरुद्धार (द-ब्रागली बोह्म)।

# ग्रन्थ-सूची

## Bibliography

(क) चिरप्रतिष्ठित पृष्ठ-भूमि सम्बन्धी साधारण अवलोकनीय ग्रन्थ।

1 Maxwell Matter and Motion
2 Maxwell A Treatise on Electricity and Magnetism (1946)
3 Einstein and Infeld The Evolution of Physics (1938)
4 Jeans Physics and Philosophy (1946)
5 Planck The Universe in the Light of Modern Physics (1937)

(ख) क्वाटम-सिद्धात।

1 Gamow Mr Tompkins in Wonderland (1940)
2 Hoffman The Strange Story of the Quantum (1947)
3 Bergmann Basic Theories of Physics Heat and Quanta (1951)
4 Persico Fundamentals of Quantum Mechanics (1950)
5 Heitler The Quantum Theory of Radiation (1944)

(ग) विशिष्ट प्रसग।

1 Loeb The Nature of a Gas (1931)
2 Rutherford The Newer Alchemy (1937)
3 Frank Relativity and its Astronomical Implications (1943)

4 Heisenberg The Physical Principles of the Quantum Theory (1930)
5 Herzberg Atomic spectra and Atomic Structure (1937)
6 Coulson Valence (1952)

(घ) लुइ दे ब्रोगली के अन्य ग्रन्थ।

1 Matter and Light (New York 1937)
2 Continu et Discontinu en Physique Modern (Paris, 1941)
3 De la Mecanique Ondulatoire a la Theorie du Noyau (Paris, 1946)
4 Physique et *Microphysique* (*Paris, 1947*)
5 Optique Electronique et Corpusculaire (Paris, 1947)
6 L Energy atomic et ses Applications (Paris, 1951)

# पारभाषिक शब्दावली

## हिन्दी-अंगरेजी

| | |
|---|---|
| अकणीय | Non-corpuscular |
| अचर | Constant |
| अचर वेग | Constant velocity Uniform vel |
| अणु | Molecule |
| अति-क्वाटमीकरण | Super-quantisation |
| अतिचाल्कता | Super conductivity |
| अतिव्याप्त होना | Overlap |
| अतिव्याप्ति | Overlapping |
| अदिष्ट | Scalar |
| अद्वितीय | Unique |
| अधिमायता | Postulate |
| अधिमाय नियम | Postulate |
| अधिष्ठित (आकाश) | Occupied (space) |
| अधिमस्य | Super numerary |
| अध्यारोपण | { Superimposition<br>{ Super position |
| अनन्त | Infinite |
| अनन्तस्पर्शी | Assymptotic |
| अनन्तती | Infinity |
| अनय ससक्त | Isolated |
| अनाविष्ट | Neutral (eletrically) |
| अनियतिवादी | Indeterministic |
| अनिर्णीत | Indeterminate |
| अनिर्णीतना | Indeterminacy Indeterminism |

| | |
|---|---|
| निश्चितता | Uncertainty Ambiguity |
| निश्चितता के अनुबंध | Uncertainty Relations |
| नुकल | Integral |
| नुकल, प्रथम | First Integral |
| नुकल, रखिक | Line integral |
| नुकलन | Integration |
| नुक्रम | Sequence |
| नुनाद | Resonance |
| नुयस्त | Oriented |
| नुपात | Ratio proportion |
| नुपाती | Proportional |
| नुप्रयोग | Application |
| नुप्रयुक्त | Applied |
| नुप्रस्थ | Transverse |
| नुबंध | Relation |
| नुभवगम्य | Appreciable |
| नुरूपी | Corresponding |
| नुस्थापन | Orientation |
| न्तराल | Interval |
| न्तरालित | Spaced |
| न्तरिक्ष किरणे | Cosmic rays |
| न्त कालीन | Provisional |
| न्त परमाणुक | Intra-atomic |
| न्योन्य क्रिया | Interaction |
| न्योन्य प्रभावक | Interacting |
| अन्योन्यानुवर्तत्व | Reciprocity |
| अन्योन्यानुवर्ती | Reciprocal |
| अन्योन्याश्रयत्व | Interdependence |
| अपकृष्ट | Degenerate (maths) |
| अपकेन्द्र बल | Centrifugal force |

| | |
|---|---|
| अवस्था-समीकरण | Equation of state |
| अवस्थितित्व | Inertia |
| अविकर्णी अवयव | Non-diagonal element |
| अविकल्पत: | Uniquely |
| अविचल | Invariant |
| अविनाशिता | Conservation |
| अविभेद्य | Indistinguishable |
| अविरुद्ध | Compatible |
| अव्यवहित | Immediate (neighbourhood) |
| असतत | Discontinuous |
| असमेय | Irreconcilable |
| असंपीड्यता | Incompressibility |
| असम्बद्ध | Uncoordinated |
| असामान्य (ज़ीमान प्रभाव) | Anomalous or complex (Zeeman effect) |
| आकार | Size |
| आकाश | (1) Space (2) Sky |
| आकाशीय | Spatial |
| आकुंचन | Contraction |
| आकृति | Shape |
| आक्सीकरण | Oxidation |
| आगम | Dogma |
| आदर्श गैस | Perfect gas |
| आदर्शीकरण | Idealisation |
| आनुभविक | Empirical |
| आनुरूप्य | Correspondence |
| आनुरूप्य नियम | Correspondence principle |
| आनुषंगिक | Corresponding Associated |
| आपतन | Incidence |
| आपतित | Incident |

| | |
|---|---|
| अपरित्याज्य | Indispensable |
| अपवजन नियम | Exclusion Principle |
| अपवर्जित | Excluded |
| अपवत्य | Multiple |
| अपवत्य, पूर्णांकी | Integral multiple |
| अपवाद | Exception |
| अपसारी | Divergent |
| अप्रगामी तरग | Stationary wave |
| अभिदिशा | Sense (of a direction) |
| अभिलम्ब | Normal (to a surface) |
| अभिलम्बत | Normally |
| अभिव्यक्ति | Significance |
| अमूत | Abstract |
| अध दिप्ट | Half-vector |
| अध-पूर्णांक | Half-integer |
| अध-पूर्णांकी | Half integral |
| अधायु | Half-life |
| अल्पान्तरी | Geodesic |
| अवकल | Differential |
| अवकलज | Derivative |
| अवकल गुणाक | Differential coefficient |
| अवकल समीरकण | Differential equation |
| अवकलन | Differentiation |
| अवकलन का वण | Order of Differentiation |
| अवधारण | Concept |
| अवमर्दित | Damped (motion) |
| अवरक्त | Infra-red |
| अवराध | Obstacle |
| अवशापण | Absorption |
| अवस्थापन | Localisation |

| | |
|---|---|
| अवस्था-समीकरण | Equation of state |
| अवस्थितित्व | Inertia |
| अविकर्णी अवयव | Non-diagonal element |
| अविकल्पत | Uniquely |
| अविचल | Invariant |
| अविनाशिता | Conservation |
| अविभेद्य | Indistinguishable |
| अविरुद्ध | Compatible |
| अव्यवहित | Immediate (neighbourhood) |
| असतत | Discontinuous |
| असमाधेय | Irreconcilable |
| असंपीड्यता | Incompressibility |
| असंबद्ध | Uncoordinated |
| असामान्य | Anomalous or complex |
| (ज़ीमान प्रभाव) | (Zeeman effect) |
| आकार | Size |
| आकाश | (1) Space (2) Sky |
| आकाशीय | Spatial |
| आकुंचन | Contraction |
| आकृति | Shape |
| आक्सीकरण | Oxidation |
| आगम | Dogma |
| आदर्श गैस | Perfect gas |
| आदर्शीकरण | Idealisation |
| आनुभविक | Empirical |
| आनुरूप्य | Correspondence |
| आनुरूप्य नियम | Correspondence principle |
| आनुषंगिक | Corresponding Associated |
| आपतन | Incidence |
| आपतित | Incident |

| | |
|---|---|
| आपेक्षिकता | Relativity |
| आपेक्षिकता, विशिष्ट | Special Relativity |
| आपेक्षिकता, व्यापक | General Relativity |
| आपेक्षिकीय | Relativistic |
| आभासी | Apparent |
| आयन | Ion |
| आयनित | Ionised |
| आयाम | Amplitude |
| आयोग | Commission |
| आर्थो-हीलियम | Ortho-helium |
| आलफा-कणिका | Alpha-particle |
| आवर्त | Periodic |
| आवर्त-कल्प | Quasi-periodic |
| आवर्त-काल | Period Periodic time |
| आवर्त क्रम | Periodic system |
| आवर्त-गति | Periodic motion |
| आवर्तत्व | Periodicity |
| आवर्तन-चक्र | Cycle |
| आवर्ताभासी | Quasi-periodic |
| आविष्कार | Invention |
| आविष्कृत | Invented |
| आवृत्ति | Frequency |
| आवेश | Charge |
| आवेशण | Electrification |
| इलैक्ट्रान | Electron |
| इष्ट | Proper |
| इष्ट-फलन | Proper function |
| इष्ट-मान | Proper value |
| ईथर | Ether |
| उत्तर-यूरेनियम | Trans-uranium |

| | |
|---|---|
| उत्तरोत्तर | Successively |
| उत्तरोत्तरवर्ती | Successive |
| उत्सर्जन | Emission |
| उद्गमन विधि | Inductive method |
| उन्मीलित | Open |
| उपकरण | Apparatus |
| उपत्यका, विभव– | Valley of potential |
| उपयोग | Application |
| उपलभामिता | Opalescence |
| उपलभ्य | Available |
| उपादेय | Admissible |
| ऊर्जा | Energy |
| ऊर्जा, गतिज | Kinetic energy |
| ऊर्जा, स्थितिज | Potential energy |
| ऊर्जा विज्ञान | Energetics |
| ऊष्मा | Heat |
| ऊष्मा, पारमाणविक | Atomic heat |
| ऊष्मा, विशिष्ट | Specific heat |
| ऊष्मा क्षेपक | Exothermic |
| ऊष्मा गतिकी | Thermodynamics |
| ऋण | Negative |
| एकक | (1) Single individual (2) Singlet |
| एकमानीय | Single-valued monotonic |
| एकमुखी | Monotonic |
| एक-वर्ण | Monochromatic |
| एक-समान | Uniform |
| एकात्मक | Identical |
| एकान्तरत | Alternately |
| एक्स किरण | X-ray |

एरियल — Arial, Antenna
ऐन्ट्रापी — Entropy
अंक-सारणी — Table of numbers
अंश — (1) Part (2) Numerator
आंशिक अवकलन — Partial Differentiation
कक्षा — Orbit
कठोर (परिकलन) — Rigorous (Calculation)
कण — Particle
कणिका — Corpuscle, particle
कणिका-त्वरित्र — Particle accelerator
कम्पन — Vibration
कर्ल — Curl
कला — Phase
कला-तरंग — Phase wave
कला-वेग — Phase velocity
कल्पित — Imaginary
कारक — Operator (mathematical)
कार्तीय — Cartesian
कार्य — Work
कार्य-कारण सिद्धान्त — Causal theory
कार्य-कारण-सम्बन्ध — Causal bond or relationship
कालानुकल — Time integral
किरण — Ray
किरणावली — Beam
कीमियागर — Alchemist
कुल — Family
कुल पृष्ठ — Family of surfaces
कुल वक्र — Family of curves
कृष्ण-वस्तु — Black-body
कैथोड किरण — Cathode ray

| | |
|---|---|
| केन्द्रिक | Central |
| कोटि (परिमाण की) | Order of magnitude |
| कोटि (स्वतन्त्रता की) | Degree of freedom |
| कोटि (मैट्रिक्स की) | Rank (of Matrix) |
| कोष्ठक | Enclosure |
| क्रमागत | Successive |
| क्रिया | Action operation |
| क्रिया, दूरत सम्पन्न | Action at a distance |
| क्रिया का अनुकल | Integral of action |
| क्रिस्टल | Crystal |
| क्वाटम | Quantum |
| क्वाटम, क्रिया का | Quantum of action |
| क्वाटम भौतिकी | Quantum Physics |
| क्वाटम-क्षेत्र सिद्धान्त | Quantum field theory |
| क्वाटम-संख्या | Quantum number |
| क्वाटम, विभव | Quantum potential |
| क्षय | Extinction |
| क्षारीय तत्त्व | Alkaline element |
| खगोलीय यान्त्रिकी | Celestial Mechanics |
| खोल्क | Shell |
| गतिकी | Dynamics |
| गतिकीय | Dynamical |
| गतिमिति | Kinematics |
| गति विज्ञान | Dynamics |
| गत्यात्मक | Dynamic |
| गत्यात्मक सिद्धान्त | Kinetic theory |
| गणना | (1) Calculation (2) Counting |
| गमन पथ | Trajectory path |
| गर्त | Hole |
| गामा किरणें | Gama rays |

| | |
|---|---|
| गुणात्मक | Qualitative |
| गुरुत्व | Gravity |
| गुरुत्वाकर्षण | Gravitation |
| गुरुत्व केन्द्र | Centre of gravity |
| गोलाबारी | Bombardment |
| गोला | Sphere |
| गोलीय | Spherical |
| ग्रह | Planet |
| ग्रहतुल्य | Planetary |
| ग्रहीय | Planetary |
| ग्राम-अणु | Gram-molecule |
| ग्राम-परमाणु | Gram-Atom |
| ग्रेटिंग | Grating |
| घटना | Phenomenon |
| घटनामूलक | Phenomenological |
| घट-बढ़ | Fluctuation |
| घन | (1) Cube (2) Solid |
| घनत्व | Density |
| घात | Pov er (algebra), Degree of equation |
| घातांक | Index (Power) |
| घूर्ण | (1) moment (2) rotating |
| घूर्ण, चुम्बकीय | Magnetic Moment |
| घूर्ण-संवेग | Moment of momentum |
| घूर्ण चुम्बकीय | Gyro-magnetic |
| घूर्णन | Rotation |
| चक्र | Cycle |
| चक्रीय अनुकल | Cyclic integral |
| चतुर्दिष्ट | Four-vector |
| चक्रिक आवर्तकाल | Cyclic period |

| | |
|---|---|
| चालकता | Conductivity |
| चालन | Conduction |
| चिर-प्रतिष्ठित | Classical |
| चुम्बक | Magnet |
| चुम्बक प्रकाशिकी | Magneto-optics |
| जटिल | Complex |
| जटिलता | Complexity |
| जीमान प्रभाव | Zeeman effect |
| जीमान प्रभाव, असामान्य | Zeeman effect complex<br>Zeeman effect anomalous |
| जीमान प्रभाव, सामान्य | Zeeman effect normal |
| जैव | Vital |
| ज्या | Sine |
| ज्या-गति | Sine motion |
| ज्या फलन | Sine function |
| ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान | Geometrical Optics |
| टेन्सर | Tensor |
| टेम्परेचर | Temperature |
| ढांचा | Framework |
| तकनीकी | Technical |
| तत्त्व | Element |
| तत्त्वान्तरण | Transmutation |
| तत्त्वान्तरणशील | Transmutable |
| तत्संगत | Corresponding |
| तनाव | Tension |
| तरंग | Wave |
| तरंग-गुच्छ | Wave-packet |
| तरंग, गोलीय | Wave spherical |
| तरंग-पृष्ठ | Wave-surface |
| तरंग प्रणाल | Wave-guide |

| | |
|---|---|
| तरग माला | Wave-train |
| तरग-यान्त्रिकी | Wave-Mechanics |
| तरग, समतल | Wave plane |
| तरग-समीकरण | Wave-equation |
| तरग-सघ | Wave-group |
| तरगाग्र | Wvae-front |
| तरगाक | Wave-number |
| तात्कालिक | Immediate, instantaneous |
| तापदीप्त | Incandescent |
| तापायनिक | Thermionic |
| तापीय सक्षोभ | Thermal agitation |
| ताराभौतिकी | Astrophysics |
| तीव्रता | Intensity |
| त्रिगुण | Triple |
| त्रिज्या | Radius |
| त्रिविमितीय | Three-dimensional |
| त्रिविमितीय रसायन | Stereo-chemistry |
| त्वरण | Acceleration |
| त्वरित्र | Accelerator |
| दवाव | Pressure |
| दहन | Combustion |
| दिक् काल | Space-time |
| दिग तराल | Distance in space |
| दिगानुस्थापन | Orientation |
| दिगश | Azimuth |
| दिगशीय | Azimuthal |
| दिष्ट | Vector |
| दिष्टीय | Vectorial |
| दीघकालिक | Secular |
| दीघवृत्त | Ellipse |

| | |
|---|---|
| दीघवृत्तीय कक्षा | Elliptical orbit |
| दूर-सचार | Telecommunication |
| दूषित चक्र (दुश्चक्र) | Vicious circle |
| दृढ | Rigid |
| देहली | Threshold |
| दोलक | Oscillator |
| दोलन | Oscillation |
| द्रव | Liquid |
| द्रव-यान्त्रिकी | Hydraulics |
| द्रव्य | Matter |
| द्रव्य-तरंग | Material wave<br>Matter wave |
| द्रव्य बिन्दु | Material point |
| द्रव्यत्व विलोपन | Dematerialisation |
| द्रव्यत्व सजन | Materialisation |
| द्रव्य मान | Mass |
| द्विक | Doublet |
| द्विक-रेखा | Doublet line |
| द्वि-परमाणुक | Diatomic |
| द्वि-वर्तन | Double refraction<br>Birefringence |
| द्वि-साधन | Double solution (of equation) |
| द्वैत | Duality |
| द्वैतमय | Dualistic |
| द्वैतीयिक | Secondary |
| द्वैध | Dual |
| धारणा | Concept idea |
| धारा | Current |
| ध्रुवण | Polarisation |
| ध्रुवण, वृत्त | Polarisation circular |

| | |
|---|---|
| ध्रुवण, समतल | Polarisation plane |
| ध्रुवण शील | Polarisable |
| ध्रुवत्व | Polarity |
| ध्रुवित | Polarised |
| ध्वनि | Sound |
| ध्वानिकी | Acoustics |
| नक्षत्र | Star |
| नक्षत्र भौतिकी | Astro-physics |
| नतक | Spinning |
| नतन | Spin |
| नाभिक | Nucleus |
| नाभिकाभ्यन्तरिक | Intra-nuclear |
| नाभिकीय | Nuclear |
| नातनिक | Spinor |
| नातनिकीय | Spinorial |
| नाविक-तरंग | Pilot wave |
| निकल | Nicol |
| निकाय | System (of bodies) |
| निगमन | Deduction |
| निमीलित | Closed |
| नियतांक | Constant |
| नियतिवाद | Determinism |
| नियतिमूलक | Deterministic |
| नियतिवर्जक | Indetermenistic |
| नियम | Rule Law Principle |
| नियन्त्रक | Restraining (adj) |
| निरसन | Elimination |
| निरूपक बिन्दु | Representative point |
| निरूपण | Representation |
| निर्णीत | Determinate |

| | |
|---|---|
| निर्देशाक्ष | Coordinate axis |
| निर्देशाक्ष तंत्र | System of Coordinate axes |
| निर्देशांक | Coordinates |
| निर्वचन | Interpretation |
| निविष्ट करना | Introduce |
| निरूपण | Introduction |
| निश्चयात्मक | Definitive |
| निश्चर | Invariant |
| निज द्रव्यमान | Proper mass |
| निज समय | Proper time |
| न्यास | Data |
| न्यूक्लियान | Nucleon |
| न्यूट्रान | Neutron |
| न्यूनतम क्रिया सिद्धान्त | Principle of Le |
| न्यूनतम-समय सिद्धान्त | Principle of lea |
| पक्षान्तरण | Transposition |
| पट्टी | Band (in spectr |
| पट्टीदार स्पैक्ट्रम | Band spectrum |
| पद | Term |
| पद, स्पक्ट्रमीय | Spectral Term |
| पदवी | Rank (of Matrix) |
| परम टेम्परेचर | Absolute Temperature |
| परम मापक्रम | Absolute scale |
| परमाणु | Atom |
| परमाणु क्रमांक | Atomic number |
| परमाणु भार | Atomic weight |
| पारमाणविक | Atomic |
| परा बैंगनी | Ultra-violet |
| परास | Range |
| परिकलन | Calculation |

| | |
|---|---|
| परिकल्पना | Hypothesis |
| परिक्षेपण | Scattering |
| परिच्छद | Shell |
| परिच्छिन्न | Precise |
| परिच्छिन्नता | Precision |
| परिणमन | Variation |
| परिपथ | Circuit (electrical) |
| परिपूरक | Complementary |
| परिपूरकता | Complementarity |
| परिमित | Finite |
| परिलक्षक राशि | Characterising quantity |
| परिवहन | Transport |
| परिसीमन } परिमीमा } | Limitation |
| परिसौर विन्दु | Perihelion |
| पाजीट्रान | Positron |
| पारगमन | Transmission |
| पारवैद्युताक | Dielectric constant |
| पारस्परिक ऊर्जा | Mutual energy |
| पारस्परिक क्रिया | Interaction |
| पारहीलियम | Parhelium |
| पारिमाणिक | Quantitative |
| पूर्ण अपवर्त्य | Whole multiple |
| पूर्णांक | Whole number integer |
| पूर्वापर विरोधहीन | Coherent |
| पूर्वविधानता | Precaution |
| परम्परानिष्ठ | Orthodox |
| प्रकाश विज्ञान | Optics |
| प्रकाश विद्युत् | Photo-electricity |
| प्रकाश-वैद्युत | Photo-electric |

| | |
|---|---|
| प्रकृत-जगत | Nature |
| प्रकृति | Nature |
| प्रकृष्ट | Rigorous (calculation) |
| प्रक्षेप | Throw |
| प्रक्षेप-पथ | Trajectory |
| प्रगतिशील | Progressive |
| प्रचरण | Propagation |
| प्रच्छन्न रूप | Potential implied hidden |
| प्रणोदित दोलन | Forced oscillation |
| प्रति इलैक्ट्रान | Anti-electron |
| प्रतिकृति | Model |
| प्रति-कथोड | Anti-cathode |
| प्रतिक्रिया | Reaction |
| प्रतिपादन | Treatment (of a subject) |
| प्रतिबन्ध | Condition |
| प्रतिबिम्ब | Image |
| प्रतिरूप | Model, image |
| प्रतिवेश | Neighbourhood |
| प्रतिषेध | Contradiction |
| प्रतिस्थापन | Substitution |
| प्रति-समित | Anti-symmetric |
| प्रतिविस्थापन-बल | Restoring force |
| प्रत्ययवाद | Idealism |
| प्रत्यावर्ती धारा | Alternating Current |
| प्रत्यास्थ | Elastic |
| प्रत्यास्थता | Elasticity |
| प्रदीपन | Illumination, exposure to light |
| प्रमेय | Theorem |
| प्रयोग | Experiment |
| प्रयोग-लब्ध मान | Experimental (value) |

| | |
|---|---|
| प्रयोग विन्दु | Point of Application (of force) |
| प्रवणता | Gradient, slope |
| प्रवाह | Flux |
| प्रसार | Expansion { (in size) (math) |
| प्रसवादी | Harmonic |
| प्राकाशिक ईथर | Luminiferous ether |
| प्राकाशिक दिष्ट | Light-vector |
| प्राक्षेपिक | Ballistic |
| प्रागुक्ति | Prediction |
| प्राचल | Parameter |
| प्राथमिक | Primary |
| प्रायिक | Probable |
| प्रायिकता | Probability |
| प्रायिकता-कलन | Calculus of probabilities |
| प्रायिकतामूलक | Probabilistic |
| प्रायोगिक | Experimental |
| प्रारूप | Draft |
| प्रावैधिक | Technical |
| प्रिज्म | Prism |
| प्रेक्षण | Observation |
| प्रेक्षण गम्य | Observable |
| प्रेक्षित मान | Observed value |
| प्रेक्ष्य | Observable |
| प्रेरण | Induction |
| प्रेरित | Induced |
| प्रोटान | Proton |
| फलन | Function (Maths) |
| फोटान | Photon |
| फोटोग्राफिय | Photographic |

| | |
|---|---|
| फ्रिंज | Fringe |
| फ्रिंज, अदीप्त | Fringe dark |
| फ्रिंज दीप्त | Fringe bright |
| बंधन | Bond |
| बल-गतिकी | Kinetics |
| बहिर्वेशन | Extrapolation |
| बहु-परमाणुक | Multi-atomic |
| बहुमानी | Multi-valued |
| बहुल | Abundant |
| बहु-संयोजकता | Multiple valency |
| बीजातीत | Transcendental (Maths) |
| बीजीय | Algebraical |
| बुध (ग्रह) | Mercury |
| बोधगम्य | Appreciable |
| बंधुता | Affinity |
| भार | Weight |
| भारित माध्य | Weighted mean |
| भूल | Error |
| भौतिक | Physical |
| भौतिक विज्ञान | Physics |
| भौतिकी | Physics |
| मंदन | Retardation slowing (of clock) |
| मात्रक | Unit |
| मात्रा | Quantity |
| माध्य | Mean |
| माध्यम | Medium |
| मान्यता | Validity |
| मापतंत्र | Matric |
| मापदंड | Scale |
| मापांक | Modulus |

| | |
|---|---|
| मूल कणिका | Fundamental particle<br>Elementary particle |
| मेघिता | Opalascence |
| मेसान | Meson |
| मैगनेटान | Magneton |
| मैट्रिक्स | Matrix |
| मैट्रिक्स की पंक्ति | Matrix, row of— |
| मैट्रिक्स का स्तंभ | Matrix, column of— |
| यदृच्छ | Random, arbitrary |
| यदृच्छता | Randomness |
| यान्त्रिक | Mechanical |
| यान्त्रिक तुल्यांक | Mechanical equivalent |
| यान्त्रिकी | Mechanics |
| यान्त्रिकी, शुद्ध | Rational mechanics |
| योगफल | Addition |
| योजनात्मक | Schematic |
| यौगपदिक | Simultaneous |
| यौगिक | Compound Complex (particle) |
| रक्तविस्थापन | Red-shift |
| रक्ताभिमुखी विस्थापन | Red-shift |
| रचना | Construction |
| राशि | Quantity |
| राजन किरणें<br>रंजन किरणें | X-rays, Rontgen Rays |
| रूढ़िनिष्ठ | Orthodox |
| रूपान्तरण | Transformation |
| रेखा-अनुकल | Line-integral |
| रैखिक | Linear |
| लम्ब | Perpendicular |
| लम्बरान्ति | Orthogonal |

| | |
|---|---|
| विचरित होना | Vary |
| विचलन | Deviation |
| विचित्रता | Singularity |
| विचित्र प्रदेश | Singular zone |
| विचित्र विन्दु | Singular point |
| वितरण | Distribution |
| विदलन | *Splitting* |
| विद्युतन | Electrification, charging |
| विद्युत्-गतिकी | *Electro-dynamics* |
| विद्युत्-चुम्बकीय पद्धति | Electro magnetic System |
| विद्युत प्रकाशिकी | *Electro-optics* |
| विनिमय | Exchange |
| विनिमय ऊर्जा | Exchange energy |
| विनिमेयता | Interchangeability |
| विन्दु-कल्प | *Point like* |
| विन्दु-यान्त्रिकी | Point-Mechanics |
| विन्यास | Configuration |
| विन्यासाकाश | Configuration space |
| विपर्यय | Inversion |
| विभव | Potential |
| विभव उपत्यका | Potential valley |
| विभव पर्वत | Mountain of Potential |
| विभाज्यता | Divisibility |
| विभेदन शक्ति | Resolving power |
| विमिति | Dimensions of space |
| विमितीय समीकरण | { Dimension of Units<br>{ Dimehsional equation |
| विरल | Rare |
| विरोधाभासी | Paradoxical |
| विलागक | Insulator |

| | |
|---|---|
| विलागित | Insulated |
| विलोम प्रमेय | Converse theorem |
| विवतन | Diffraction |
| विवतन आकृति | Diffraction figure |
| विशिष्ट ऊष्मा | Specific heat |
| विश्लेषण | (1) Analysis<br>(2) Resolution (of forces etc)<br>(3) Decomposition (spectral) |
| विश्व-बल | World-force |
| विश्व रेखा | World-line |
| विषम (संख्या) | Odd (number) |
| विषमता | Anomaly |
| विषम दिक | Anisotropic |
| विषम ध्रुवी | Heteropolar |
| विसरण | Diffusion |
| विसर्ग | Discharge |
| विसर्ग नलिका | Discharge Tube |
| विसमिति | Dis-symmetry |
| विस्थापन | Displacement |
| वेधनशील | Penetrating |
| वैद्युत | Electric |
| वध द्विक | Reguler Doublet |
| वैधानिक | Canonical |
| वधानिकत सयुग्मी | Canonically conjugate |
| वधानिक पद्धति | Formal system |
| वधानिक प्रक्रिया | Formalism |
| वैश्लेषिक | Analytical |
| व्यक्तिगत | Individual |
| व्यक्तित्व | Individuality |
| व्यक्तिनिष्ठवाद | Subjectivism |

| | |
|---|---|
| तिकरण | Interference |
| त्ययशील | Commutative |
| त्ययहीन | Non-commutative |
| ापक | General |
| ापकीकृत | Generalised |
| ापकीकरण | Generalisation |
| ावहारिक | Practical |
| ुत्क्रम | Reciprocal (maths) |
| ुत्पन्न | Derived, Derivative |
| ंजक | Expression |
| क्ति | Power |
| ब्द विज्ञान | Acoustics |
| ुद्ध-दशा | Pure case |
| ्यानता | Viscosity |
| ेणी | Series |
| ड्गुण | Sextuple |
| त्यापन | Verification |
| दिश | Vector |
| दिश त्रिज्या | Radius vector |
| न्निकटत | Approximately |
| न्निकटन | Approximation |
| माविष्ट करना | Incorporate |
| मकलीय | In same phase |
| मकोणिक | Rectangular |
| मतल | Plane |
| मता | Equality |
| मतापीय | Isothermal |
| मदैशिक | Isotropic |
| [illegible] | Isotop |
| [illegible] | Homopolar |

| | |
|---|---|
| सम विभाजन | Equipartition |
| सम-स्थानीय, समस्थानिक | Isotope |
| सम धर्मी | Homologous |
| समानधर्मी | Homologous |
| समारोपित करना | Attribute |
| समाहरण | Assemblage |
| समांगी | Homogeneous, Uniform |
| सम्मिश्र राशि | Complex quantity |
| सरल आवर्तगति | Simple Harmonic motion |
| सरल आवर्त पद | Harmonic terms |
| सरल दोलक | Harmonic Oscillator |
| सहकर्षण | Drag |
| सहचरण, सहचरत्व | Co-variance |
| साधन | Solution (of equation) |
| सामान्य | Normal |
| सामान्यीकरण | Normalisation |
| सामूहिक अवस्था | Collective state |
| सार्वत्रिक नियतांक | Universal constant |
| सिद्धान्त | Theory Principle |
| सैद्धांतिक | Theoretical Theorist |
| सीमांत दशा | Limiting case |
| सुरंग प्रभाव | Tunnel effect |
| सूक्ष्म मापदंडीय, सूक्ष्म-स्तरीय | Microscopic |
| सूक्ष्म रचना | Fine structure |
| सौर जगत, सौर मंडल | Solar System |
| संकल्पना | Pastulate, Assumption |
| संकालत्व | Synchronism |
| संकालन | Synchronisation |

| | |
|---|---|
| सकालित करना | Synchronise |
| सकेताक | Index |
| सकापण | Pooling |
| सक्रमण | Transition |
| सक्रमणिक | Critical |
| सक्षोभण | Perturbation |
| सघ | Group, System |
| सघटक | *Component* |
| सघट्ट | Collision |
| सघनित | Condensate condensed |
| सघ सिद्धान्त | Group Theary |
| सचय | Combination (algebra) |
| सचालन शक्ति | Motive power |
| सतत | Continuous |
| सतुलन | Equilibrium |
| सतृप्त | Saturated |
| सतृप्ति | Saturation |
| सपाती | Coincident |
| सपुट | *Shell* |
| समिति | Symmetry |
| सयुग्मी | Conjugate |
| सयोजकता | Valency |
| सयोजकता दिष्ट | Valency directed |
| सयोजकता, बहु | Valency, multiple |
| सयोजन नियम | Principle of Combination |
| सरचना | Constitution, Structure |
| सलग्न | Attached |
| सवनन | *Becoming* |
| सवहन | Convection |
| सवेग | Momentum |

| | |
|---|---|
| सश्लेषण | Synthesis |
| सश्लेषात्मक | Synthetic |
| समजन | Cohesion |
| सस्थान | (1) Framework (2) System |
| सहति | System (of equations) |
| साकेतिक | Symbolic |
| साकेतिकता | Sombolism |
| साख्यिक मान | Numerical value |
| साख्यिकी | Statistics |
| साख्यिकीय यान्त्रिकी | Statistical Mechanics |
| सातत्य | Continuity |
| सातत्यक | Continuum |
| स्थायी | Stable |
| स्थावर अवस्था | Stationary state |
| स्थितिज ऊर्जा | Potential energy |
| स्थिर अनुकल | Stationary integral |
| स्थिर क्रिया | Stationary action |
| स्थिर-वैद्युत पद्धति | Electrostatic system |
| स्थिरोज क्षेत्र | Conservative field |
| स्थूल-मापदडीय<br>स्थूल-स्तरीय | Macroscopic |
| स्थैतिक | Static |
| स्थैतिकी | Statics |
| स्पर्श रेखीय | Tangential |
| स्पष्ट | Explicit (Maths) |
| स्पष्टत | Explicitly |
| स्पैक्ट्रम | Spectrum |
| स्पैक्ट्रम विज्ञान | Spectroscopy |
| स्पैक्ट्रम वैज्ञानिक | Spectroscopist |
| स्पैक्ट्रमीय | Spectral |

| | |
|---|---|
| स्वच्छन्द | Arbitrary |
| स्वतन्त्र इलैक्ट्रान | Free electron |
| स्वतन्त्र बन्धन | Free binding |
| स्वल्पान्तरालित | Closely spaced |
| स्वेच्छ | Arbitrary |
| स्वोत्सर्जी | Radio-active |
| स्वोत्सर्जिता | Radio activity |
| हर | Denominator |
| हल | Root (of equation) |

## अंग्रेजी-हिन्दी

| | |
|---|---|
| Absolute Scale | परम मापक्रम |
| Absolute Temperature | परम टेम्परेचर |
| Absorption | अवशोषण |
| Abstract | अमूर्त |
| Acceleration | त्वरण |
| Accelerator | त्वरित्र |
| Accoustics | ध्वानिकी, शब्द विज्ञान |
| Action | क्रिया |
| Affinity | बन्धुता |
| Alchemist | कीमियागर |
| Algebraical equation | बीजीय समीकरण |
| Alkaline elements | क्षारीय तत्त्व |
| Alpha particle | आल्फा-कणिका |
| Alpha ray | आल्फा किरण |
| Alternately | एकान्तरत |
| Alternatively | विकल्पत |
| Alternating current | प्रत्यावर्ती धारा |
| Amplitude | आयाम |
| Analyser | विश्लेषक, ध्रुवण विश्लेषक |
| Analysis | विश्लेषण |
| Analytical | विश्लेषिक |
| Anisotropic | विषमदिक् |
| Annihilation | विनाश |
| Anomalous | असामान्य |

| | |
|---|---|
| Anomaly | विषमता |
| Antenna | एरियल |
| Anti-cathode | प्रति-कैथोड |
| Anti-electron | प्रति इलैक्ट्रान |
| Anti-symmetric | प्रति-समित |
| Apparatus | उपकरण |
| Apparent | आभासी |
| Application | अनुप्रयोग उपयोग |
| Applied (Science) | अनुप्रयुक्त, उपयोगी |
| Appreciable | अनुभवगम्य, प्रेक्षणगम्य, बोध |
| Approximate | सन्निकट |
| Approximately | सन्निकटत |
| Approximation | सन्निकटन |
| Approximation, degree of— | सन्निकटन की कोटि |
| Arbitrary | स्वेच्छ, मनमाना |
| Assemblage | समाहरण |
| Associated wave | आनुषंगिक तरंग |
| Assymptotic | अनन्तस्पर्शी |
| Astrophysics | तारा भौतिकी |
| Atomic | पारमाणविक |
| Atomic number | परमाणु क्रमांक |
| Atomic weight | परमाणु भार |
| Available energy | उपलभ्य ऊर्जा |
| Azimuth | दिगंश |
| Azimuthal quantum-number | दिगंशीय क्वांटम-संख्या |
| Ballistic | प्राक्षेपिक |
| Band spectrum | पट्टीदार स्पैक्ट्रम |
| Beam | किरणावली |
| Birefringence | द्वि-वर्तन |
| Blackbody | कृष्ण-वस्तु |

| | |
|---|---|
| Bond | बंधन |
| Boundary condition | सीमान्त प्रतिबंध |
| Calculation | परिकलन |
| Calculus differential | अवकल-कलन |
| Calculus integral | अनुकल-कलन |
| Calculus of probabilities | प्रायिकता-कलन |
| Canonical equations | वैधानिक समीकरण |
| Canonically conjugate | वैधानिक सयुग्मी |
| Cartesian | कार्तीय |
| Cathode ray | कैथोड किरण |
| Causal bond | कार्य-कारण सम्बन्ध |
| Celestial Mechanics | खगोल-यांत्रिकी |
| Central | केन्द्रिक |
| Centrifugal force | अपकेन्द्र बल |
| Characteristic | लाक्षणिक |
| Charge | आवेश चार्ज |
| Circuit | परिपथ |
| Circuit closed | बद या निमीलित परिपथ |
| Circuit open | खुला या उन्मीलित परिपथ |
| Classical | चिरप्रतिष्ठित |
| Coherent | पूर्वापर विरोधहीन |
| Cohesion | ससजन |
| Coincident | सपाती |
| Collective State | सामूहिक अवस्था |
| Collision | टक्कर सघट्ट |
| Combination (algebra) | सचय |
| Conbination (chemistry) | सयोजन |
| Combination principle | सयोजन नियम |
| Combustion | दहन |
| Commutative | व्यत्ययशील |

| | |
|---|---|
| Complementarity | परिपूरकता, सपूरकता |
| Complementary | परिपूरक, सपूरक |
| Complex | जटिल |
| Complex (maths) | सम्मिश्र |
| Complex (particle) | यौगिक कणिका |
| Complex (Zeeman effect) | असामान्य जीमान प्रभाव |
| Component | सघटक, घटक |
| Compound | यौगिक |
| Concept | धारणा, अवधारणा |
| Condensate | सघनित |
| Condition | (१) अवस्था (२) प्रतिबन्ध |
| Conduction | चालकता |
| Configuration | विन्यास |
| Configuration space | विन्यासाकाश |
| Conjugate | सयुग्मी |
| Conservation (of energy) | अविनाशिता |
| Conservative field | स्थिरोर्ज क्षेत्र |
| Constant (adj ) | स्थिर, अचर |
| Constant (noun) | नियतांक |
| Constitution | सरचना |
| Construction | रचना |
| Continuity | सातत्य |
| Continuous | सतत |
| Continuum | सातत्यक |
| Contraction | आकुचन |
| Contradictory | परस्पर विरोधी |
| Convection | सवहन |
| Converse theorem | विलोम प्रमेय |
| Coordinates | निर्देशांक |
| Coordinate axis of | निर्देशाक्ष |

| | |
|---|---|
| Coordinates System of | (१) निर्देशाक-पद्धति<br>(२) निर्देशाक-तत्र |
| Corpuscle | कणिका |
| Correspondence | आनुरूप्य |
| Correspondence principle | आनुरूप्य नियम |
| Corresponding | तत्सगत, अनुरूपी, आनुषगिक |
| Cosmic rays | अन्तरिक्ष किरणें |
| Co-variance | सहचरण सहचरत्व |
| Critical (Temp) | सक्रमणिक |
| Crystal | क्रिस्टल |
| Curl | कर्ल |
| Current | धारा |
| Curve | वक्र |
| Curvilinear | वक्ररेखीय |
| Cybernetics | साइबर्नेटिक्स |
| Cycle | आवर्तन, चक्र |
| Cyclic | चक्रीय चाक्रिक |
| Damped | अवमदित |
| Data | न्यास |
| Decomposition | विघटन |
| Deduction | निगमन |
| Deflection | विक्षेप |
| Deformation | विकृति |
| Degenerate | अपकृष्ट |
| Degree (Temp) | डिगरी |
| Degree (equation) | घात |
| Degree, of freedom | स्वतत्रता की कोटि, स्वातन्त्र्य-कोटि |
| Dematerialisation | द्रव्यत्व विलोपन |
| Denominator | हर |
| Density | घनत्व |

| | |
|---|---|
| Derivative | व्युत्पन्न, अवकलज |
| Derived | व्युत्पन्न |
| Determinate | निर्णीत |
| Determinism | नियतिवाद, प्राक् निर्णीतता |
| Development | विकास |
| Development (of mathematical expression) | प्रसार |
| Deviation | विचलन |
| Diagonal elements (of matrix) | विकर्णी अवयव |
| Diatomic | द्वि-परमाणुक |
| Dielectric constant | पारवैद्युताक |
| Differential | अवकल |
| Differentiation | अवकलन |
| Diffraction | विवतन |
| Diffusion | विसरण |
| Dimensions (of body) | नाप, विस्तार |
| Dimensions (of space) | विमिति |
| Dimensions (of units) | विमिति |
| Dimensional equation | विमिनीय समीकरण |
| Discharge | विसग |
| Discharge-tube | विसग-नलिका |
| Discontinuous | असतत |
| Disintegration | विघटन |
| Disintegration constant | विघटनाक |
| Dispersion | वण विक्षेपण |
| Displacement | विस्थापन |
| Displacement current | विस्थापन धारा |
| Dis-symmetry | विसमिति |
| Distribution | वितरण |
| Disturbance | विक्षोभ |

| | |
|---|---|
| Divergent | अपगारी |
| Divisibility | विभाज्यता |
| Dogma | आगम |
| Double refraction | द्वि-वर्तन |
| Double solution Theory | द्वि-साधन सिद्धान्त |
| Doublet | द्विक |
| Drag | सहकर्षण |
| Dual | द्वध |
| Dualistic | द्वतमय |
| Duality | द्वत |
| Dynamic | गत्यात्मक |
| Dynamical | गतिकीय |
| Dynamics | गतिकी, गतिविज्ञान |
| Elastic | प्रत्यास्थ |
| Elasticity | प्रत्यास्थता |
| Electric moment | वैद्युत घूर्ण |
| Electric vector | वैद्युत दिष्ट |
| Electrification | आवेषण, विद्युतन |
| Electro-dynamics | विद्युत-गतिविज्ञान<br>विद्युत-गतिकी |
| Electromagnetic | विद्युत चुम्बकीय |
| Electromagnetic system | विद्युत चुम्बकीय पद्धति |
| Electron | इलैक्टान |
| Electro-optics | वैद्युत प्राकाशिकी |
| Electro static system | स्थिर-वैद्युत पद्धति |
| Element | तत्त्व |
| Elmentary | मूल मौलिक |
| Elementary particles | मूल कणिकाएँ |
| Elimination | निरसन |
| Ellipse | दीर्घवृत्त |

| | |
|---|---|
| Elliptical orbit | दीर्घवृत्तीय कक्षा |
| Emission | उत्सर्जन |
| Empirical | आनुभविक |
| Enclosure | वाष्ठक |
| Energetics | ऊर्जा विज्ञान |
| Energy | ऊर्जा |
| Energy kinetic | गतिज ऊर्जा |
| Energy potential | स्थितिज ऊर्जा |
| Entropy | ऐंट्रापी |
| Equation | समीकरण |
| Equation of state | अवस्था-समीकरण |
| Equilibrium | सतुलन |
| Equi-partition | सम विभाजन |
| Error | भूल |
| Evolution | विकास, प्रगति |
| Exception | अपवाद |
| Exchange energy | विनिमय-ऊर्जा |
| Exclusion Principle | अपवर्जन नियम |
| Exo-thermic | ऊष्मा निक्षेपक |
| Expansion | प्रसार |
| Experiment | प्रयोग |
| Experimental | प्रायोगिक, प्रयोगलब्ध |
| Explicit | स्पष्ट |
| Exposure (to light) | प्रदीपन |
| Expression | व्यंजक, पद-संहति |
| Extinction | क्षय |
| Extrapolation | बहिर्वेशन |
| Family (of Curves) | कुल |
| Finite | परिमित |
| Fine-structure | सूक्ष्म रचना |

| | |
|---|---|
| Fission | विघटन |
| Fluctuation | घट-बढ़ |
| Flux | प्रवाह |
| Force | बल |
| Forced Oscillation | प्रणोदित दोलन |
| Formalism | यथानिक प्रक्रिया |
| Four-vector | चतुर्दिष्ट |
| Framework | ढाचा सस्थान |
| Free binding | स्वतत्र बधन |
| Free electron | स्वतत्र इलेक्ट्रान |
| Frequency | आवृत्ति |
| Fringe | फ्रिंज |
| Fringe (bright) | दीप्त फ्रिंज |
| Fringe (dark) | अदीप्त फ्रिंज |
| Function (maths) | फलन |
| Gama Rays | गामा किरणें |
| General | व्यापक |
| Generalisation | व्यापकीकरण |
| Generalised | व्यापकीकृत |
| Geodesic | अल्पान्तरी |
| Geometrical optics | ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान |
| Gradient | प्रवणता |
| Gram-atom | ग्राम-परमाणु |
| Gram-molecule | ग्राम-अणु |
| Grating | ग्रेटिंग |
| Gravity | गुरुत्वाकर्षण |
| Gravity centre of— | गुरुत्व-केन्द्र |
| Group | वर्ग, सघ |
| Group theory | सघ सिद्धान्त |
| Gyromagnetic anomaly | घूर्ण चुम्बकीय विषमता |

| | |
|---|---|
| Half integer | अर्ध-पूर्णांक |
| Half-life | अर्धायु |
| Half-vector | अर्ध दिष्ट |
| Harmonic | प्रसंवादी |
| Harmonic oscillator | सरल दोलक |
| Harmonic terms | सरल-आवर्त पद |
| Heat | ऊष्मा |
| Heat, atomic | पारमाणविक ऊष्मा |
| Heat, specific | विशिष्ट ऊष्मा |
| Hetero-polar | विषम ध्रुवी |
| Hole | गर्त |
| Homogeneous | समांगी |
| Homologous | समधर्मी, समानधर्मी |
| Homopolar | समध्रुवी |
| Hydraulics | द्रव यान्त्रिकी |
| Hypothesis | परिकल्पना |
| Idealisation | आदर्शीकरण |
| Idealism | प्रत्ययवाद |
| Identical | एक-सा एक समान एकात्मक, अभिन्न |
| Illumination | प्रदीपन |
| Image | प्रतिबिम्ब, प्रतिरूप |
| Imaginary | कल्पित काल्पनिक |
| Immediate | अव्यवहित, तात्कालिक |
| Incandescent | तापदीप्त |
| Incident | आपतित |
| Incompressibility | असम्पीड्यता |
| Incorporation | सन्निवेषण |
| Indeterminacy | अनिर्णीतता |
| Indeterminate | अनिर्णीत |
| Indeterminism | अनियतिवाद |

| | |
|---|---|
| Indeterministic | अनियतिवादी नियतिनिरजन |
| Index | (१) गवेनांक, (२) घातांक |
| Index of refraction | वर्तनांक |
| Indistinguishable | अविभेद्य |
| Individual (adj) | (१) एकक (२) व्यक्तिगत |
| Individuality | व्यक्तित्व |
| Induction | प्रेरण |
| Induction method | उद्गमन विधि |
| Inertia | अवस्थितित्व |
| Infinite | अनन्त |
| Infinity | अनन्ती |
| Infra-red | अवरक्त |
| Insulator | विलागक (पृथक्कारी) |
| Instantaneous | तात्कालिक |
| Integer | पूर्णांक |
| Integral | (१) पूर्णांकी (२) अनुकल |
| Integral line— | रेखिक अनुकल |
| Integration | अनुकलन |
| Intensity | तीव्रता |
| Interacting | अन्योन्य प्रभावक |
| Interaction | पारस्परिक क्रिया |
| Interchangability | विनिमयता |
| Interdependence | अन्योन्याश्रयत्व |
| Interference | व्यतिकरण |
| Interpretation | निर्वचन |
| Interval | अन्तराल |
| Interval (of space) | दिगन्तराल |
| Interval (of time) | कालान्तराल |
| Intra-atomic | अन्तःपरमाणुक |
| Intra-nuclear | अन्तःनाभिकीय, नाभिकाभ्यन्तरिक |

Introduce — निविष्ट करना
Introduction — निवेशन
Invariant — निश्चर
Invention — आविष्कार
Inverse — प्रतिलोम
Inversion — प्रतिलोमीकरण, विपयय
Ion — आयन
Ionised — आयनित
Irreconcilable — असंधेय
Isolated — अनन्य-संसक्त
Isothermal — समतापीय
Isotope — समस्थानीय
Isotropic — समदिक
Isotropy — समदिगत्व
Juxta-position — सान्निध्य
Kinematics — गतिमिति
Kinetics — बल-गतिकी
Kinetic Theory — गत्यात्मक सिद्धान्त
Large Scale (phenomenon) — स्थूल-मापदण्डीय (घटना)
Least action (principle) — न्यूनतम क्रिया नियम
Least Time ( ,, ) — न्यूनतम काल नियम
Light-vector — प्राकाशिक दिष्ट
Limited — सीमित
Limiting case — चरम दशा
Linear equation — रैखिक समीकरण, एक घात समीकरण
Linear Oscillator — रैखिक दोलक
Line-integral — रैखिक अनुकल, रेखा-अनुकल
Localisation — अवस्थापन
Logarithm — लागरिथ्म
Luminiferous ether — प्राकाशिक ईथर

| | |
|---|---|
| Macroscopic | स्थूल मापदडीय, स्थूल-स्तरीय |
| Magneton | मैगनेटान |
| Magneto-optics | चुम्बक प्राकाशिकी |
| Mass | द्रव्यमान |
| Material wave | द्रव्य-तरग |
| Materialisation | द्रव्यत्व-सजन |
| Matrix | मैट्रिक्स |
| Matrix rows | मट्रिक्स की पक्तिया |
| Matrix columns | मैट्रिक्स के स्तम्भ |
| Mean | माध्य |
| Mechanical Equivalent | यात्रिक तुल्याक |
| Mechanics | यान्त्रिकी |
| Medium | माध्यम |
| Mercury (planet) | बुध (ग्रह) |
| Meson | मेसान |
| Metric | मापतत्र |
| Micro-physics | सूक्ष्म भौतिकी |
| Microscopic | सूक्ष्म मापदडीय, सूक्ष्म-स्तरीय |
| Model | प्रतिरूप |
| Modulus | मापाक |
| Molecule | अणु |
| Moment | घूर्ण |
| Momentum | सवेग |
| Monochromatic | एक-वर्ण |
| Monotonic | एकमुखी, एक मानी |
| Motive power | सचालन शक्ति |
| Mountain of potential | विभव पर्वत |
| Multi-atomic | बहु-परमाणुक |
| Multiple | अपवर्त्य |
| Multiple valency | बहु-सयोजकता |

| | |
|---|---|
| Multiple-valued | बहुमानी |
| Mutual energy | पारस्परिक ऊर्जा |
| Nature | (१) प्रकृति, जाति (२) |
| Neutron | न्यूट्रान |
| Nicol prism | निकल प्रिज्म |
| Non-commutation rules | व्यत्ययहीनता के नियम |
| Non-corpuscular | अकणीय |
| Non-diagonal element (of Matrix) | अविकर्णी अवयव |
| Non-linear | अरखिक |
| Normal | (१) सामान्य (२) अभिलम्ब |
| Normalisation | सामान्यीकरण |
| Normally | अभिलम्बत |
| Nuclear energy | नाभिकीय ऊर्जा |
| Nuclear Physics | नाभिकीय भौतिकी |
| Nucleon | न्यूक्लियान |
| Nucleus | नाभिक न्यूक्लियस |
| Numerator | अंश |
| Numerical value | संख्यात्मक मान |
| Observable | प्रेक्ष्य, प्रेक्षणगम्य |
| Observed | प्रेक्षित |
| Observer | प्रेक्षक |
| Obstacle | अवरोध |
| Occupy (space) | अधिष्ठित करना |
| Odd | विषम |
| Opalescence | मधिता उपलभासिता |
| Operator (Maths) | कारक |
| Operation | क्रिया, प्रक्रिया |
| Optics | प्रकाश विज्ञान प्राकाशिकी |
| Orbit | कक्षा |

| | |
|---|---|
| Orbital | कक्षीय |
| Order (of differentiation) | कोटि |
| Order (of magnitude) | कोटि (पारिमाणिक) |
| Order (of arrangement) | क्रम अनुक्रम |
| Orientation | अनुस्थापन दिगानुस्थापन, अनुन्यास |
| Orthodox | शास्त्रसम्मत |
| Orthogonal | लम्बकोणिक |
| Ortho-helium | आर्थो-हीलीयम |
| Overlapping | अतिव्याप्ति |
| Oxidation | आक्सीकरण |
| Paradoxical | विरुद्धाभासी, विरोधाभासी |
| Parameter | प्राचल |
| Par-helium | पार-हील्यिम |
| Partial | आंशिक |
| Particle | कण, कणिका |
| Particle accelerator | कणिका-त्वरित्र |
| Penetrating | वेधनशील |
| Perfect gas | आदर्श गैस |
| Perihelion | परिसौर बिंदु |
| Period | आवर्त काल |
| Periodic motion | आवर्त गति |
| Periodicity | आवर्तत्व |
| Perpendicular | लम्ब, लम्ब रूप समकोणिक |
| Perturbation | संक्षोभण |
| Phase | कला |
| Phase, opposite | विषम कला, प्रतिकूल कला |
| Phase same | समकला, अनुकूल कला |
| Phase velocity | कला-वेग |
| Phase wave | कला-तरंग |
| Phenomenological | घटनामूलक |

| | |
|---|---|
| Photo-electric | प्रकाश-वैद्युत |
| Photo-electricity | प्रकाश विद्युत् |
| Photon | फोटान |
| Physics | भौतिकी, भौतिक विज्ञान |
| Physical | भौतिक |
| Physical optics | भौतिक प्रकाश विज्ञान |
| Pilot wave | नाविक-तरंग |
| Planetary | ग्रहीय, ग्रहतुल्य |
| Point-like | बिन्दु-कल्प |
| Point-mechanics | बिन्दु-यान्त्रिकी |
| Polarisable | ध्रुवणीय |
| Polarisation | ध्रुवण |
| Polarisation, circular | वृत्त ध्रुवण |
| Polarisation elliptical | दीर्घवृत्तीय ध्रुवण |
| Polarisation plane | समतल ध्रुवण |
| Polarised | ध्रुवित |
| Polarity | ध्रुवीयता |
| Pooling | सकोषण |
| Positron | पाजीट्रान |
| Postulate | अधिमान्यता, अधिमान्य नियम<br>मूल कल्पना, सकल्पना |
| Potential | विभव |
| Potential energy | स्थितिज ऊर्जा |
| Potentially | संभाव्य रूप में, प्रच्छन्न रूप में |
| Power | शक्ति |
| Power (Maths) | घात |
| Practical | व्यावहारिक |
| Precaution | पूर्वविधानता |
| Precise | परिच्छिन्न, परिशुद्ध |
| Predicted | प्रागुक्त |

| | |
|---|---|
| Prediction | प्रागुक्ति |
| Pressure | दबाव दाब |
| Primary | प्राथमिक |
| Principle | सिद्धान्त नियम |
| Prism | प्रिज्म |
| Probabilistic | प्रायिकता-मूलक |
| Probability | प्रायिकता |
| Probable | प्रायिक |
| Probable, most | प्रायिकतम |
| Propagation | प्रचरण |
| Proper function | इष्ट फलन |
| Proper mass | नैज द्रव्यमान |
| Proper Time | नैज समय |
| Proper value | इष्ट मान |
| Property | गुण |
| Proportional | अनुपाती |
| Proton | प्रोटान |
| Provisional | अन्तःकालीन |
| Qualitative | गुणात्मक |
| Quantity | (१) मात्रा, परिमाण (२) राशि |
| Quantitative | मात्रात्मक, पारिमाणिक |
| Quantum | क्वाटम |
| Quantum of action | क्रिया का क्वाटम |
| Quantum field theory | क्वाटम-क्षेत्र सिद्धान्त |
| Quantum number | क्वाटम-सख्या |
| Quantum number, azimuthal | दिगंशीय क्वाटम-सख्या |
| Quantum number inner | आभ्यन्तरिक क्वाटम-सख्या |
| Quantum Physics | क्वाटम भौतिकी |
| Quantum potential | क्वाटम विभव |
| Quasi-periodic | आवर्त-कल्प आवर्ताभासी |

Quotient — भागफल, लब्धि
Radiant energy — विकिरण ऊर्जा
Radiation — विकिरण
Radiation equilibrium — सन्तुलन विकिरण
Radio-active — स्वोत्सर्जी, रेडियमधर्मी
Radio-activity — स्वात्सर्जिता, रेडियमधर्मिता
Radius vector — सदिश त्रिज्या
Random — यदृच्छ, यादृच्छिक
Randomness — यदृच्छता यादच्छिकता
Range — परास
Rank (of matrix) — पदवी, कोटि
Rare — विरल
Ratio — अनुपात
Rational Mechanics — शुद्ध यान्त्रिकी
Ray — किरण
Reaction — प्रतिक्रिया
Real — वास्तविक
Realist — वास्तववादी
Reality — वास्तविकता
Reciprocal — (१) व्युत्क्रम (२) अन्योन्यानुवर्ती
Reciprocity — अन्योन्यानुवनन
Rectangular — समकोणिक
Red-shift — रक्ताभिमुखी विस्थापन, रक्तविस्थापन
Refracting — वतक
Refraction — वतन
Regular doublet — वैध द्विक
Relation — अनुबन्ध
Relativistic — आपेक्षिकीय
Relativity theory — आपेक्षिकता का सिद्धान्त
Relativity, general — व्यापक आपेक्षिकता

| | |
|---|---|
| Relativity special | विशिष्ट आपेक्षिकता |
| Represent | निरूपित करना |
| Representation | निरूपण |
| Representative point | निरूपक बिन्दु |
| Research | शोध अनुसंधान गवेषणा |
| Resolve | विश्लेषण करना |
| Resolution | विश्लेषण विभेदन |
| Resolving power | विभेदन शक्ति |
| Resonance | अनुनाद |
| Resonant | अनुनादी |
| Restoring force | प्रति विस्थापन बल |
| Restraining force | नियंत्रक बल |
| Rigid | दृढ़, परिदृढ़ |
| Rigorous (calculation) | कठोर प्रकृष्ट |
| Ring | वलय |
| Rontgen rays | रनजन, राजन किरण, एक्स किरणें |
| Root (of equation) | हल |
| Rotation | घूर्णन |
| Saturated | संतृप्त |
| Saturation | संतृप्ति |
| Scalar | अदिष्ट |
| Scale | मापदंड |
| Scattering | परिक्षेपण विकीर्णन |
| Schematic | योजनात्मक व्यवस्थात्मक |
| Secondary | द्वैतीयिक |
| Secular | दीर्घकालिक |
| Selection principle | वरण नियम |
| Sense (of direction) | अभिदिशा |
| Sequence | अनुक्रम |
| Series | श्रेणी |

| | |
|---|---|
| Sextuple | षडगुण |
| Shape | आकृति |
| Shell | सपुट, खोलक, परिच्छद |
| Significant | साथ, अथपूण |
| Simultaneous | यौगपदिक, समक्षणिक |
| Simultaneous equations | यौगपदिक समीकरण |
| Sine | ज्या |
| Singlet | एकक |
| Single-valued | एकमानीय |
| Singular (zone) | विचित्र प्रदेश |
| Singularity | विचित्रता |
| Size | आकार, नाप |
| Slope | प्रवणता |
| Slowing of clock | मन्दन |
| Solar system | सौर मडल |
| Solution (of equation) | हल |
| Space | आकाश |
| Spaced closely | स्वल्पातरालित |
| Space-Time | दिक्-काल |
| Spatial | आकाशीय |
| Specific heat | विशिष्ट ऊष्मा |
| Spectral Term | स्पैक्ट्रमीय पद |
| Spectroscope | स्पैक्ट्रमदर्शी |
| Spectroscopist | स्पैक्ट्रम-वैज्ञानिक |
| Spectrum | स्पैक्ट्रम |
| Sphere | गोला |
| Spherical wave | गोलीय तरग |
| Spin | नतन |
| Spinning | नतव |
| Spinor | नाननिक |

| | |
|---|---|
| Spinorial | [illegible]ननिरीय |
| Splitting | वि[illegible]न |
| Square | वर्ग |
| Stable | स्थायी |
| Static | स्थैतिक |
| Statics | स्थैतिकी |
| Stationary action | स्थिर क्रिया |
| Stationary integral | स्थिर अनुकल |
| Stationary State | स्थावर अवस्था |
| Stationary wave | अप्रगामी तरंग |
| Statistical mechanics | सांख्यिकीय यांत्रिकी |
| Statistics | सांख्यिकी |
| Stereo-chemistry | त्रिविमितीय रसायन |
| Structure | संरचना |
| Subjectivism | व्यक्तिनिष्ठवाद |
| Substitution | प्रतिस्थापन |
| Successive | क्रमागत, उत्तरोत्तर |
| Super-conductivity | अतिचालकता |
| Super-imposition | अध्यारोपण |
| Supernumerary | अतिरिक्त अधिसंख्य |
| Super-quantisation | अति-क्वांटमीकरण |
| Symbolic | सांकेतिक |
| Symbolism | सांकेतिकता, संकेत प्रणाली |
| Symmetrical | समित |
| Symmetry | समिति |
| Synchronisation | संकालन |
| Synchronism | संकालत्व |
| Synthetic | संश्लेषित |
| Synthesis | संश्लेषण |
| System (of Coordinates) | तंत्र |

| | |
|---|---|
| System (of bodies) | निकाय, सघ |
| System (of equations) | सहति, सघ |
| Table | सारणी |
| Table of numbers | अक-सारणी |
| *Tangential* | *स्पर्श रेखीय* |
| Technical | तकनीकी, प्राविधिक |
| Tele-communication | दूर-सचारण |
| Temperature | टेम्परेचर |
| Tension | तनाव |
| Tensor | टेन्सर |
| Term | पद |
| Term spectral | स्पक्ट्रमीय पद |
| Theorem | प्रमय |
| Theoretical | सद्धान्तिक |
| Thoery | सिद्धान्त |
| Thermal agitation | तापीय सक्षोभ |
| Thermionic | तापायनिक |
| *Thermo-dynamics* | *ऊष्मा-गतिकी* |
| Threshold | देहली |
| Time-integral | कालानुकल |
| Trajectory | गमन-पथ, प्रक्षेप-पथ |
| Transcendental (maths) | बीजातीत |
| Transformation | रूपान्तरण |
| Transition | सक्रमण |
| Transmission | पारगमन, सचारण |
| Transmutable | तत्वान्तरणशील |
| Transmutation | तत्वान्तरण |
| Transport | परिवहन |
| Transposition | पक्षान्तरण |
| Trans-uranic | उत्तर-यूरेनियम |

| | |
|---|---|
| Transverse | अनुप्रस्थ |
| Triple | त्रिगुण |
| Tunnel effect | सुरग प्रभाव |
| Ultra-violet | परा-वैंगनी |
| Uncertainty | अनिश्चितता |
| Uncertainty relations | अनिश्चितता के अनुबंध |
| Uncoordinated | असम्बद्ध |
| Uniform | एक-समान समांगी |
| Uniform velocity | अचर वेग |
| Uniform field | समागी क्षेत्र |
| Unique | अद्वितीय, अविकल्पी, अनन्य |
| Uniquely | अविकल्पत , अनन्यत |
| Unit | मात्रक एकाक |
| Universal | सार्वत्रिक |
| Valency | सयोजकता |
| Valency directed | दिष्ट सयोजकता |
| Valency multiple | बहु-सयोजकता |
| Validity | वधता, मान्यता औचित्य |
| Valley of potential | विभव-उपत्यका |
| Variation | परिणमन, विचरण |
| Vary | विचरना, विचरित होना |
| Vector | दिष्ट, दिष्ट राशि, सदिश |
| Vectorial | दिष्टीय |
| Verification | सत्यापन |
| Verify | सत्यापित करना |
| Vibration | कम्पन |
| Vicious circle | दूषित चक्र (दुश्चक्र) |
| Viscosity | श्यानता |
| Vital | जव |
| Wave | तरग |

| | |
|---|---|
| Wave, plane | समतल तरग |
| Wave, spherical | गोलीय तरग |
| Wave stationary | अप्रगामी तरग |
| Wave-equation | तरग-समीकरण |
| Wave front | तरगाग्र |
| Wave group | तरग-सघ |
| Wave guide | तरग प्रणाल |
| Wave-Mechanics | तरग-यान्त्रिकी |
| Wave number | तरगाक |
| Wave-packet | तरग-गुच्छ |
| Wave surface | तरग-पृष्ठ |
| Wave-train | तरग माला |
| Weight | भार |
| Weighted mean | भारित माध्य |
| Whole multiple | पूण अपवत्य |
| Whole number | पूर्णांक |
| Work | काय |
| World-force | विश्व-बल |
| World-line | विश्वरेखा |
| X-rays | एक्स किरण |
| Zeeman effect | जीमान प्रभाव |
| Zeeman effect, anomalous | असामान्य जीमान-प्रभाव |
| Zeeman effect complex | असामान्य जीमान प्रभाव |
| Zeeman effect normal | सामान्य जीमान प्रभाव |

---